

Projekt Verjüngung der Hauptbaumarten in Gebirgswäldern unter Klimawandel: Pilotprojekt zur waldbaulichen Entscheidungsfindung Schlussbericht

Report

Author(s):

Zürcher-Gasser, Nora; Frehner, Monika; Schwitter, Raphael

Publication date:

2015

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010667775>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Projekt
Verjüngung der Hauptbaumarten in Gebirgswäldern unter Klimawandel:
Pilotprojekt zur waldbaulichen Entscheidungsfindung

Im Rahmen des Forschungsprogramms Wald und Klimawandel

SCHLUSSBERICHT



Version 10.12.2015

Nora Zürcher-Gasser
Gadola AG

Monika Frehner
Forstingenieurbüro

Raphael Schwitter
Fachstelle für Gebirgswaldpflege



Autoren

Nora Zürcher-Gasser, Gadola AG, Postfach 20, 7172 Rabius

Monika Frehner, Forstingenieurbüro, Sixer 9, 7320 Sargans

Raphael Schwitter, Fachstelle für Gebirgswaldpflege, ibW Bildungszentrum Wald, Postfach 52, 7304 Maienfeld

Ein Projekt-Schlussbericht aus dem Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel» von BAFU und WSL
(www.wsl.ch/wald_klima)

Projektlaufzeit:

Januar 2013 bis Dezember 2014

Zitierung

Zürcher-Gasser, N.; Frehner, M.; Schwitter, R. 2014. Verjüngung der Hauptbaumarten in Gebirgswäldern unter Klimawandel: Pilotprojekt zur waldbaulichen Entscheidungsfindung. Rabius; Sargans; Maienfeld, GWP. 36 S.

Im pdf-Format zu beziehen über www.wsl.ch/wald_klima

Dank

Das Projektteam dankt BAFU und WSL für die Finanzierung dieses Projekts und der Programmleitung für die angenehme Zusammenarbeit. Julia Born danken wir speziell für die Koordination und die speditive Arbeit beim Organisieren der erforderlichen Unterlagen.

Den Forstpraktikern, welche an den Workshops teilgenommen haben, danken wir herzlich für die Bereitschaft, sich auf die komplexe Materie einzulassen und für ihre Inputs. Den Forstdiensten Aletsch, Glarus Süd und Anzonico/Pollegio danken wir für das zur Verfügung stellen der Fallstudienflächen.

©Gadola AG, 7172 Rabius, 2014.

Inhalt

Anhänge.....	I
Zusammenfassung.....	- 1 -
Summary.....	- 2 -
1 Einleitung.....	- 3 -
2 Material und Methoden	- 3 -
2.1 Auswahl und Beurteilung der diversen Projekte.....	- 3 -
2.2 Auswahl der Fallstudienflächen	Fehler! Textmarke nicht definiert.
2.3 Übertragung in die forstliche Praxis.....	- 5 -
2.3.1 Anwendung der Resultate auf die Fallstudienflächen.....	- 5 -
2.3.2 Übertragen der Thesen in die waldbauliche Praxis, Diskussionen mit Waldbau-Praktikern im Rahmen von Workshops auf den Fallstudienflächen.....	- 5 -
2.4 Projektablauf.....	- 6 -
3 Resultate.....	- 7 -
3.1 Auswahl und Beurteilung der Forschungsprojekte	- 7 -
3.1.1 Frage 1: Was ist gemäss heutiger Waldbaupraxis, ohne explizite Berücksichtigung von Klimawandel, die Idealvorstellung für den zukünftigen Bestand?	- 7 -
3.1.2 Frage 2: Was sind realistische Vorstellungen für den zukünftigen Bestand mit Berücksichtigung des Klimawandels resp. wie müssen die Angaben gemäss NaiS allenfalls angepasst werden?	- 7 -
3.1.3 Veränderung ausgewählter verjüngungsökologischer Faktoren als Grundlage für waldbauliche Entscheidungen ..	- 14 -
3.1.4 Handlungsalternativen	- 18 -
3.2 Fallstudienflächen	- 22 -
3.2.1 Standortregion 1 (nördliche Randalpen): Schwanden GL.....	- 22 -
3.2.2 Standortregion 3 (kontinentale Hochalpen): Grengiols.....	- 22 -
3.2.3 Tessin: Anzonico – Poleggio - Rodi	- 23 -
3.3 Übertragung in die waldbauliche Praxis.....	- 24 -
3.3.1 Anwendung auf die Fallstudienflächen	- 24 -
3.3.2 Diskussion der Thesen im Rahmen von Workshops.....	- 25 -
4 Diskussion und Schlussfolgerungen.....	30
Literatur.....	33

Anhänge

Anhang 1: Beschreibung der Fallstudienflächen

Anhang 1-1: Beschreibung Fallstudienflächen Wallis

Anhang 1-2: Beschreibung Fallstudienflächen Glarus

Anhang 1-3: Beschreibung Fallstudienflächen Tessin

Anhang 2: Grundlagendossier

Anhang 3: „Lösungsvorschläge“

Anhang 3-1: Lösungsvorschlag Wallis

Anhang 3-2: Lösungsvorschlag Glarus

Anhang 3-3: Lösungsvorschlag Tessin

Anhang 4: Protokolle

Anhang 4-1: Protokoll Wallis

Anhang 4-2: Protokoll Glarus

Anhang 4-3: Protokoll Tessin

Zusammenfassung

Zielsetzung des Projektes ist es, die Ergebnisse aus diversen Projekten des Forschungsprogramms „Wald und Klimawandel“ anhand von Fallbeispielen daraufhin zu überprüfen, ob sie für konkrete waldbauliche Entscheidungen bezüglich Verjüngungseinleitung im Gebirgswald einen Nutzen bringen, welche Interpretationsmöglichkeiten bestehen und wo die Unsicherheiten bei solchen Entscheiden liegen. Dadurch sollen einerseits Entscheidungsgrundlagen für die forstliche Praxis geschaffen werden, andererseits soll aufgezeigt werden, wie die Forschungsergebnisse aufbereitet werden sollen/können, damit sie in der Praxis anwendbar sind.

Dafür wurden in einem ersten Schritt in Absprache mit der Programmleitung die zu untersuchenden Projekte ausgewählt und daraufhin untersucht, ob sie einen Beitrag leisten können zu einer der folgenden Fragen:

- Was sind realistische Szenarien / Vorstellungen für den zukünftigen Bestand?
- Was sind die entscheidenden verjüngungsökologischen Faktoren?
- Mit welchen Eingriffen erreiche ich / komme ich möglichst nahe an die (realistische) Zielsetzung?

In einem zweiten Schritt wurden für konkrete Fallstudienflächen Thesen hergeleitet für die zu erwartende Entwicklung resp. den „richtigen“ waldbaulichen Umgang mit diesen Flächen unter Berücksichtigung des Klimawandels. Diese Thesen wurden in einem dritten Schritt im Rahmen von Workshops mit Waldbau-Praktikern auf Fallstudienflächen in drei Regionen der Schweiz getestet (Wallis, Glarus, Tessin).

Bezüglich Handlungsempfehlungen respektive waldbaulichen Konsequenzen, welche sich aus den untersuchten Forschungsprojekten ergeben, zeichnen sich gewisse waldbauliche Trends ab (z.B. Anpassung der Baumartenmischung (v.a. mehr Laubbäume auf heutigen Nadelwald-Standorten), Einbringen/Fördern von trockenheitstoleranten Baumarten, vermehrtes Fördern von Mischbaumarten durch Pflege), dabei ist aber der Spielraum – unter anderem auf Grund der grossen Unsicherheiten bei den Modellierungen – generell sehr gross. Um kostspielige Interventionen oder im Vergleich zu heute angewendeten waldbaulichen Eingriffen neue Massnahmen einzuführen, sind die Hinweise aus den einzelnen Projekten, welche für die Ergebnisse zur Verfügung standen, zu wenig überzeugend. Für die Praxis bedeutet dies, dass der im Einzelbestand gegebene waldbauliche Spielraum zwar so weit wie möglich ausgenutzt werden sollte, um in Richtung der oben genannten Trends zu arbeiten, die bisherige waldbauliche Praxis aber nicht grundsätzlich geändert werden sollte.

Bezüglich Umsetzung der Forschungsergebnisse zeigt sich, dass es aus Sicht der Forstpraxis sehr wünschenswert ist, die neuen Erkenntnisse in die heute befolgten Waldbaustrategien resp. in bestehende Handlungsempfehlungen und Richtlinien einzubauen und diese anzupassen. Das Projekt „Adaptierte Ökogramme“ bietet dafür einen guten Ansatz und sollte für weitere Umsetzungsprodukte richtungsweisend sein. Für eine breite Akzeptanz von Änderungen an den bestehenden Hilfsmitteln ist eine frühzeitige und umfassende Information und Ausbildung von grosser Wichtigkeit.

Weiter zeigt sich, dass waldbauliche Entscheide häufig von finanziellen Faktoren beeinflusst werden. Dieser Tatsache sollte bei der Umsetzung der Forschungsergebnisse insofern Rechnung getragen werden, als Handlungsempfehlungen auf finanziell wirksamer Ebene (d.h. mit finanziellen Anreizen wie Subventionen oder Fördergelder) implementiert werden.

Summary

The current study examined a selection of projects from the program „Forest and Climate Change“ and their applicability to contribute to concrete silvicultural decisions related to the regeneration of mountain forests while simultaneously taking climate change into consideration.

The goal of this investigation/study is to analyse, using case studies from the diverse program projects, whether the results can be used to positively influence silvicultural decisions concerning regeneration of mountain forests, to identify how the data lead to different interpretations, and to determine where uncertainties lie upon making such decisions.

As a result, this will on the one hand be used to form a basis for decision making in forestry, and on the other hand illustrate how the different research results can/should be interpreted in order to be used in practice.

To reach the above mentioned goals, as a first step, based on a consultation with the program direction, projects were selected and analysed to determine if they could contribute to clarifying one of the following questions:

- What are realistic scenarios for the future inventory?
- What are the key ecological regeneration factors?
- With which processes/procedures will we come closest to our (realistic) objectives?

In einem zweiten Schritt wurden für konkrete Fallstudienflächen Thesen hergeleitet für die zu erwartende Entwicklung resp. den „richtigen“ waldbaulichen Umgang mit diesen Flächen unter Berücksichtigung des Klimawandels.

In a second step, hypotheses were derived for specific case studies for the expected development of these forest areas and the “correct” silvicultural handling of these areas taking climate change into consideration.

These hypotheses were tested as part of a third step through the use of Workshops with forestry practitioners within the case studies in three different Swiss regions (Wallis, Glarus, and Ticino)

With regard to recommendations and silvicultural consequences that arose from the investigated research projects, we noted several silvicultural trends. For instance, we observed an adaptation of tree species composition (specifically an increase in deciduous trees on current conifer sites), introduction of drought tolerant tree species, and increased promotion of mixed tree species through cultivation). However, the margin of error is generally large due to the large uncertainties in the modeling.

The information from the individual projects is simply not convincing enough to justify costly interventions or the introduction of new measures compared to today’s applied silvicultural interventions.

In practice, this means that, the given/current individual silvicultural techniques should be utilized as much as possible to work towards the above mentioned trends.

Regarding the implementation of the research results from the forestry practice perspective, we conclude that it is highly recommended to integrate the new findings within current silviculture strategies as well as into existing recommendations and guidelines. Therefore, the project „Adaptiere Ökogramme“ provides a good approach and should serve as a benchmark for other implementation products.

In order to achieve a general adoption of amendments to the existing tools, an early and comprehensive distribution of information and education is important.

In addition, it must be taken into account that silvicultural decisions are often strongly influenced by financial considerations.

Therefore, this should be considered when implementing research results as recommendations, as one has to also consider the financial effectiveness.

1 Einleitung

Hintergrund der vorliegenden Studie ist, dass im Rahmen des Forschungsprogramms „Wald und Klimawandel“ Wissensgrundlagen erarbeitet wurden bzw. werden, die für die Praxis nutzbar gemacht werden sollen. Dazu gehören z.B. Trockenheistindex-Karten aus dem Projekt Remund, Baumverbreitungskarten von Projekt Zimmermann oder die Resultate des RetroPro-Projektes, welches die Waldentwicklung unter verschiedenen Annahmen simuliert (Bugmann). In diesem Projekt werden diese und weitere Grundlagen zusammengetragen. Es soll geprüft werden, welche konkreten Beiträge sie zur Entscheidungsfindung in Gebirgswäldern liefern können, und wo dabei ihre Grenzen liegen. Der **Fokus** liegt dabei auf der Verjüngung der Hauptbaumarten, weil die Verjüngung – inkl. Baumartenwahl – einer der waldbaulich folgenreichsten Entscheide ist und weil die Baumartenwahl in der Anpassung an den Klimawandel die wirksamste Massnahme zu sein scheint (Brang et al. 2008, Brang et al. 2014).

Die zentrale **Fragestellung** des Projektes lautet:

„Wie können die Erkenntnisse bezüglich Verjüngung aus dem Forschungsprogramm Wald und Klimawandel für die waldbauliche Entscheidungsfindung im Gebirgswald verwendet werden?“

Zielsetzung des Projektes ist es, die Ergebnisse aus diversen Projekten des Programms anhand von Fallbeispielen daraufhin zu überprüfen, ob sie für konkrete waldbauliche Entscheidungen bezüglich Verjüngungseinleitung im Gebirgswald einen Nutzen bringen, welche Interpretationsmöglichkeiten bestehen und wo die Unsicherheiten bei solchen Entscheiden liegen. Dadurch sollen einerseits Entscheidungsgrundlagen für die forstliche Praxis geschaffen werden, andererseits soll aufgezeigt werden, wie die Forschungsergebnisse aufbereitet werden sollen/können, damit sie in der Praxis anwendbar sind.

Der vorliegende **Schlussbericht** erläutert in Kapitel 2 das Vorgehen bei den einzelnen Projektteilen, fasst in Kapitel 3 einerseits die Beurteilungen der diversen Projekte und andererseits die Resultate der Workshops zusammen und zieht in Kapitel 4 Schlussfolgerungen daraus. Die Arbeitspapiere für die im Rahmen dieses Projekts durchgeführten Workshops sind in den Anhängen 1 bis 4 aufgeführt.

2 Material und Methoden

Wie im Projektantrag vom November 2012 vorgesehen, wurden für das Projekt folgende Arbeitsschritte durchgeführt:

- Sichtung/Beurteilung diverser Projekte aus dem Forschungsprogramm Wald & Klimawandel
- Anwendung der Resultate anhand von Fallstudien
 - Auswahl von Fallstudienflächen
 - Anwendung der Resultate auf die Fallstudienflächen, Erarbeiten von Thesen für die zukünftige Entwicklung auf den Fallstudienflächen
 - Übertragen der Thesen in die waldbauliche Praxis, Diskussionen mit Waldbau-Praktikern im Rahmen von Workshops auf den Fallstudienflächen

Das Vorgehen in den einzelnen Arbeitsschritten wird in den folgenden Unterkapiteln erläutert.

2.1 Auswahl und Beurteilung der diversen Projekte

In enger Absprache mit der Programmleitung wurden in einer ersten Phase alle Projekte, welche in der Tabelle 2-1 aufgeführt sind, grob beurteilt, ob sie Potential für eine direkte Umsetzung in waldbauliche Entscheidungen bezüglich Verjüngung von Gebirgswäldern beinhalten oder nicht. Es erwies sich, dass dies grundsätzlich bei allen aufgeführten Projekten der Fall ist. Für einige Projekte lagen allerdings noch keine Resultate oder erst Zwischenresultate vor, sodass diese Projekte nicht abschliessend beurteilt werden konnten (in der Tabelle 2-1 hellrot resp. blau hinterlegt). Diejenigen Projekte, welche für die Workshops verwendet wurden, sind in der Tabelle 2-1 grün hinterlegt.

Grundsätzlich stellen sich in zu verjüngenden Beständen vier Fragen:

1. Was ist das Wunschbild / die Idealvorstellung für den zukünftigen Bestand gemäss heutiger Waldbaupraxis, ohne explizite Berücksichtigung des Klimawandels?

2. Was sind realistische Szenarien / Vorstellungen für den zukünftigen Bestand mit Berücksichtigung des Klimawandels?
3. Was sind die entscheidenden verjüngungsökologischen Faktoren?
4. Mit welchen Eingriffen erreiche ich / komme ich möglichst nahe an die (realistischen) Szenarien / Vorstellungen?

Die Resultate aus den einzelnen Projekten in der Tabelle 2-1 wurden daraufhin untersucht, inwiefern sie etwas zur Beantwortung der Fragen 2 bis 4 resp. einzelner Teilaspekte beitragen können. Dabei handelt es sich um eine gutachtliche, subjektive Einschätzung durch das Projektteam, welche im Rahmen der Workshops mit Waldbauexperten diskutiert wurden (siehe Kap. 0). In den Kap. 3.1.2 bis 3.1.4 ist eine konsolidierte Beurteilung der einzelnen Projekte enthalten, in welche auch die Anmerkungen der Programmleitung eingeflossen sind.

Tabelle 2-1: Projekte, die im Rahmen des vorliegenden Projektes verwendet wurden (grün: für Workshop verwendet, blau: Zwischenresultate verwendet; rot: Projektergebnisse liegen noch nicht vor).

Projekte aus Programmphase I (2009-2011)	
Projektleiter/in	Titel
N. Zimmermann	PorTree: Portfolio zentraleuropäischer Baumarten
M. Rebetz	Waldklima und Klimatrends: Einfluss von Temperatur, Niederschlag und Feuchtigkeit auf Waldökosysteme
P. Lüscher	Auswirkungen klimatisch bedingter Veränderungen der Baumartenzusammensetzung auf die Durchwurzelungssituation und bodenhydrologische Prozesse in Waldböden
M. Küchler	Bestandesentwicklung und Klimateffekt
H. Bugmann	Adaptive Bewirtschaftungsstrategien zur Aufrechterhaltung wichtiger Ökosystemleistungen der schweizerischen Gebirgswälder: Anwendung mechanistischer Walddynamik-Modelle
P. Bebi	Entwicklung und Leistungen von Schutzwäldern unter dem Einfluss des Klimawandels: Entwicklungstrends und Szenarien von Schnee- und Waldveränderungen; Abschätzung der Veränderung der Lawinenschutzwirksamkeit.
T. Wohlgemuth	TroLiFa: Trockenheit als limitierender Faktor für An- und Aufwuchs von Hauptbaumarten
C. Körner	Matchtree: Trockenstresssensitivität und Kältengrenzen von Bäumen
J. Remund	Trockenstressindizes: Schätzung standortstypenspezifischer Trockenstressrisiken in Schweizer Wäldern
R. Siegwolf	Anfälligkeit auf Trockenheit von Nadelbaumarten in der Schweiz
H. Bugmann	RetroPro: Retrospektive und prospektive Analyse der Sensitivität schweizerischer Waldbestandestypen auf Klimaveränderungen
P. Weber	Konkurrenzkraft und Standortsensitivität von Baumarten
Projekte aus Programmphase II (2012-2015)	
T. Wohlgemuth	TroLiFa Phase II
M. Hanewinkel	Klimasensitive Waldmanagementmodelle
J. Remund	Weiterentwicklung des Projektes aus Phase I: Trockenstressindizes für die Zukunft
N. Zimmermann	ForReg: Weiterentwicklung des Projektes PorTree mit Schwerpunkt Verjüngung
Abenis	Erklärung der Höhenstufen mit klimatischen Daten
Büttler	Reaktion von Buche und Fichte auf Klimawandel entlang eines Höhengradienten

2.2 Anwendung der Resultate in Fallstudien

Gemäss Projektantrag wurde ein Vorgehen gewählt, in welchen Fallstudien ein zentrales Element darstellen. Die Methodik von Fallstudien scheint geeignet, die vorliegenden Forschungsergebnisse bezüglich Anwendung in konkreten Fragestellungen zu testen.

2.2.1 Auswahl der Fallstudienflächen

Die Fallstudienflächen wurden auf Grund folgender Kriterien ausgewählt:

„Muss“-Kriterien:

3 Standortsregionen à 3-4 Fallstudienflächen

- unterschiedliche Höhenstufen; obermontan, hochmontan und subalpin sollten dabei sein. Das heisst, mindestens eine Region sollte im Buchenareal liegen.
- Praxisrelevanz: es sollen Waldstandorte ausgewählt werden, auf denen in der betreffenden Region häufig forstliche Eingriffe stattfinden, innerhalb dieser sollen aber auch die extremeren Standorte gesucht werden (z. B. Erika-Fichtenwälder 53* oder Föhrenwälder).
- Leicht erreichbar innerhalb eines Tages pro Standortregion (in Kombination mit 2-3 weiteren Fallstudienflächen)
- Der Wildeinfluss sollte einigermaßen bekannt sein.

„Nice to have“:

- Flächen, die klar einem Standorttyp nach NaiS (Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald, Frehner et al. 2005) zugeordnet werden können, werden bevorzugt gegenüber Flächen mit unklarer Zuordnung (z. B. Mosaik, spezielle Ausbildungen, viele Standorttypen auf Fläche).
- Weiserflächen oder in Kursen bereits verwendete Flächen resp. bereits dokumentierte Flächen werden bevorzugt
- An den Flächen sollten wenn möglich verjüngungsgünstige Stellen vorhanden sein (damit Verjüngungsablauf unter heutigen Verhältnissen und zu erwartende Veränderungen diskutiert werden kann)
- Interessierter Förster (dadurch kann mehr Input vom Förster erwartet werden)

2.2.2 Übertragung in die forstliche Praxis

Anwendung der Resultate auf die Fallstudienflächen

Auf den Grundlagen aus Schritt 1 und 2 wurden für jede Fallstudienfläche Thesen/Szenarien hergeleitet, wie die Verjüngung in Zukunft ablaufen könnte. Gleichzeitig soll aufgezeigt werden, wie verlässlich diese Szenarien sind resp. welche Unsicherheiten diesbezüglich trotz der neuen Erkenntnisse bestehen. Die Ergebnisse der Beurteilung durch das Projektteam werden in Form eines Lösungsvorschlages präsentiert (siehe Anhang 3).

Übertragen der Thesen in die waldbauliche Praxis, Diskussionen mit Waldbau-Praktikern im Rahmen von Workshops auf den Fallstudienflächen

Im Rahmen von eintägigen Workshops wurden die Thesen/Szenarien mit Waldbau-Experten und lokalen Forstpraktikern aus der entsprechenden Region diskutiert. Dabei sollten Fragen beantwortet werden wie

- Sind die Resultate nachvollziehbar und verständlich dargestellt?
- Sind die aufgezeigten Entwicklungen nachvollziehbar/vorstellbar?
- Welche waldbaulichen Schlussfolgerungen ergeben sich aus den neuen Erkenntnissen?
- Zeichnen sich die aufgezeigten Entwicklungen bereits ab?
- Wie kann/soll auf bereits beobachtete und/oder erwartete Veränderungen reagiert werden?
- Welche Handlungsoptionen stehen auf Grund der neuen Erkenntnisse zur Verfügung?

2.3 Projektablauf

Abgesehen von einer Verschiebung der Detailanalyse/Anwendung der Resultate bis ins zweite Quartal 2014 konnte das Projekt so abgewickelt werden wie vorgesehen, insbesondere wurden die Workshops termingerecht durchgeführt.

	2013				2014			
	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Projektstart	■							
Auswahl der im Detail zu analysierenden Projekte	■	■						
Detailanalyse		■	■	■	■	■		
Auswahl der Fallstudienflächen			■					
Anwendung der Resultate auf die Fallstudienflächen			■	■	■	■		
Synthese pro Fallstudie/Thesen					■	■		
Organisation Workshops					■			
Durchführung Workshops						■	■	
Auswertung Workshops							■	
Schlussbericht, Gesamtsynthese							■	■

Abbildung 2-1: Realisierter Zeitplan/Ablauf

3 Resultate

3.1 Auswahl und Beurteilung der Forschungsprojekte

Wie in Kap. 2.1 dargestellt wurden die Forschungsprojekte darauf hin untersucht, ob sie einen Beitrag zur Beantwortung einer der vier in Kap. 2.1 aufgeführten Fragen leisten können. In den Unterkapitel 3.1.1 bis 3.1.4 wird versucht, diesen Beitrag pro Frage darzustellen. Einzelne Projekte erscheinen demnach bei mehr als einer Fragestellung.

3.1.1 *Frage 1: Was ist gemäss heutiger Waldbaupraxis, ohne explizite Berücksichtigung von Klimawandel, die Idealvorstellung für den zukünftigen Bestand?*

Die Vorgaben gemäss NaiS (für den Standort, ohne Naturgefahr) sollen als Grundlage dienen für die Bestimmung des Idealzustandes gemäss heutiger Waldbaupraxis ohne die Berücksichtigung des Klimawandels.

3.1.2 *Frage 2: Was sind realistische Vorstellungen für den zukünftigen Bestand mit Berücksichtigung des Klimawandels resp. wie müssen die Angaben gemäss NaiS allenfalls angepasst werden?*

Die Frage 2 beinhaltet folgende Teilaspekte:

- welche Baumarten sind auf dem Standort zukunftsfähig?
 - Verbreitungspotential/Höhenverbreitung
 - Trockenheitsresistenz/Konkurrenzkraft
 - Zukünftige Artenzusammensetzung
- Wie sieht die zukünftige Bestandesstruktur aus? Entwicklung der Wald-Biomasse?
- Geschwindigkeit der Veränderungen in der Baumartenzusammensetzung?

In der Folge wird beurteilt, inwiefern die untersuchten Projekte zur Beantwortung dieser Fragen beitragen können.

Welche Baumarten sind auf dem Standort zukunftsfähig?

Projekt Zimmermann: PorTree – Portfolio zentraleuropäischer Baumarten Verbreitungskarten für div. Baumarten auf der Grundlage von Klimahüllenmodellen

Im Projekt PorTree wurde in einem ersten Schritt verschiedene Waldinventurdaten (Schweiz, Österreich, Deutschland, Frankreich, Slowenien) für mehrere europäische Baumarten untersucht, unter welchen klimatischen Verhältnissen diese vorkommen und wie gut sie dort wachsen. Anhand von Klimamodellen wurde anschliessend simuliert, wo die entsprechenden klimatischen Verhältnisse in Zukunft (bis 2100, Klimaszenario A1B) herrschen werden und davon wurden zukünftige Verbreitungsgebiete dieser Baumarten abgeleitet. Das Resultat sind Karten des potentiellen Verbreitungsgebietes sowie Wachstumsanalysen für einzelne Baumarten (siehe auch Anhang 2 – Grundlagendossier).

Unsere Beurteilung und Kurzzusammenfassung:

Grundsätzlich sind die Verbreitungskarten eine sehr interessante Grundlage/Hilfestellung für die Baumartenwahl und bietet von allen untersuchten Projekten die konkretesten Hinweise. Die Verbreitungskarten sind allerdings nicht als tatsächliche Verbreitung zu betrachten, sondern als **Potential**-Karten. Bis die tatsächliche Baumarten-Verteilung so aussieht, wird es auf Grund der langsamen ökologischen Vorgänge deutlich länger dauern, als dies die Potentialkarten angeben.

Es bestehen allerdings diverse Einschränkungen bezüglich Gültigkeit (viele davon werden auch von der Autorenschaft angemerkt), da diverse limitierende Faktoren im Modell nicht berücksichtigt wurden:

- Auf Grund des statistischen Ansatzes können gewisse regionale Besonderheiten nur ungenügend berücksichtigt werden. Das heisst, dass die Verhältnisse von Boden, Klima und Baumartenvorkommen, die nur auf einer relativ **kleinen Fläche** vorkommen, im Modell

Zimmermann nur schlecht beschrieben werden können, da dafür nur wenige (oder keine) LFI-Daten für den Modellfit zur Verfügung stehen. Dies führt dazu, dass die Karten auf Ebene „Hinweiskarte“ wertvoll sind, für konkrete Entscheide im Bestand aber eine zu hohe Flughöhe aufweisen.

- **nicht berücksichtigte Faktoren:** Boden, Wind/Föhn, thermische Kontinentalität → diese müssen bei der Anwendung am jeweiligen Ort gutachterlich abgeschätzt und in die Entscheidung miteinbezogen werden.
- **Tanne:** Das Modell unterschätzt das Verbreitungspotential bereits für die aktuelle Verbreitung (v.a. trockene Standorte im Wallis). Die Tanne kann unter deutlich wärmeren und trockeneren Bedingungen wachsen als modelliert (Niederschlag > 400mm im Sommer resp. 700-800mm Jahresniederschlag) → die zukünftige potentielle Verbreitung dürfte grösser sein als modelliert, v.a. in wärmeren und leicht trockeneren Gebieten. Ein Beispiel, wo die Potentialkarte der Tanne in Frage gestellt wird, ist die Fallstudienfläche Achseli (GL): hier wird Buchenvorkommen prognostiziert, Tannenvorkommen wird aber nicht modelliert. Hier ist nicht klar, warum die Buche vorkommen soll, die Tanne aber nicht?
- **Feldahorn:** eher grösseres potentielles Verbreitungsgebiet, v.a. im Tessin und Wallis. Potentielle zukünftige Verbreitung auf sauren Böden zu optimistisch eingeschätzt. Wird aber weiterhin nicht konkurrenzfähig sein → keine Konsequenzen für Waldbau
- **Bergahorn:** Verschiebung vom Mittelland in höhere Regionen. Potentielle zukünftige Verbreitung auf sauren Böden zu optimistisch eingeschätzt.
- **Hagebuche:** Modell repräsentiert aktuelle Verbreitung zu pessimistisch; wahrscheinlich, weil Hagebuche in der Vergangenheit stark von der Waldbewirtschaftung profitiert hat. Verbreitung könnte deshalb evtl. noch stärker ausfallen; evtl. auch im Tessin.
- **Buche:** Das Modell simuliert aktuelle Verbreitung weit in Täler hinein, wo aktuell keine Buche vorkommt (VS, GR, TI). Es wird vermutet (siehe z.B. Projekt Huber), dass die Buchen-Verbreitung an deren klimatischen Randbereich u. A. durch Kontinentalität und Bodeneigenschaften (insbesondere kaum Buchen an deren Verbreitungsgrenzen auf sauren Böden) begrenzt wird. Falls dem so ist, werden die zukünftigen potentiellen Verbreitungsgebiete der Buche zu optimistisch eingeschätzt → eher vorsichtig zu verwenden. Die Buche kann gemäss Wachstumsanalyse auch unter deutlich wärmeren Bedingungen (bei nur wenig ändernden Niederschlägen) wachsen. Eine Frage tauchte auch auf, warum der Bereich „Dominance“ für die Buche so klein ist im Vergleich zum Bereich „Persistence“.
- **Blumenesche:** wandert ein in TI, Wallis, Chur, Mittelland → waldbaulich kaum von Bedeutung. Nicht berücksichtigt, dass Blumenesche kaum auf sauren Böden wächst → Verbreitung wird eher überschätzt.
- **Fichte:** Verbreitung geht zurück in Mittelland und wandert in höhere Lagen. Wachstumsanalyse zeigt, dass die FI auch unter wärmeren Bedingungen (bei nur wenig ändernden Niederschlägen) wachsen kann.
- **Traubeneiche:** eher Rückgang in Tessin und Wallis. Die Modellgüte kann durch das Projektteam nicht beurteilt werde.
- **Im Tessin** sind die Modellierungen auf Grund der grossen Unsicherheiten bezüglich Niederschlagsentwicklung besonders schwierig.
- Für mehrere waldbaulich interessante Baumarten wurden bisher keine Verbreitungskarten erstellt; gemäss N. Zimmermann werden solche in nächster Zeit für einige Baumarten noch erstellt (Mail vom 11. Juni 2014). Interessant wären auch Abschätzungen für ausländische Baumarten, welche heute noch nicht vorhanden sind oder sich z.B. im Tessin bereits ausbreiten.

Laut mündlicher Mitteilung von Peter Brang gibt der Ansatz über Wachstumsanalysen (nur für Ta, Bu, Fi verfügbar) wichtige Zusatzinformationen zu den Karten der potentiellen Verbreitung. Die potentielle Verbreitung wird stark beeinflusst von der Limite, die gesetzt wird. Als Limite wird die Wahrscheinlichkeit

verwendet, die vom Modell für das Vorhandensein einer Baumart beim gewählten Klimaszenario berechnet wird. Je nachdem wie man diese Limite setzt (z. B. 5 % oder 10 %), kann sich die potentielle Verbreitung wesentlich ändern.

Grundsätzlich ist es schwierig, sich auf den Karten zu orientieren; die "Ergebnisse" für den Umsetzungsvorschlag mussten dementsprechend grosszügig herausgelesen werden.

Projekt Huber: Klimafaktoren zur Erklärung der Höhenstufen

Zusammenfassung: Das Projekt untersucht, ob die Höhenstufen, wie sie z.B. in NaiS verwendet werden, sowie Arealgrenzen (z.B. Tannen-, Buchenareal, Eichenverbreitung im Wallis, u.a.m.) mit Klimafaktoren erklärt werden können (wobei auch weitere Faktoren beigezogen werden, z.B. die Geologie). Dafür wurden diverse Klimaparameter in hoher Auflösung hergeleitet und anschliessend mit standortkundlichen Daten verglichen, um allfällige Zusammenhänge zwischen den Höhenstufen, Verbreitungsarealen der Hauptbaumarten und Klimafaktoren herauszufinden. Das Projekt wird Ende 2014 abgeschlossen.

Unsere Beurteilung: Sehr interessanter Ansatz mit hohem Praxisbezug: die Höhenstufen haben sich in der forstlichen Praxis gut etabliert; wenn die Verschiebung der Höhenstufen unter Klimawandel simuliert werden könnte, wäre das für den Forstpraktiker sehr anschaulich. Die ersten Ergebnisse, welche bis jetzt vorliegen, scheinen vielversprechend zu sein (z.B. scheint die kolline Stufe mit dem Verhältnis ETA/ETP gut erklärbar zu sein → da ergeben sich Anwendungsmöglichkeiten im Zusammenhang mit Trockenstresskarte). Weitere Ergebnisse werden für den Herbst 2014 erwartet.

→ Es werden interessante Erkenntnisse bezüglich der zu erwartenden Verschiebung der Höhenstufen, erwartet, die für den Waldbauer wichtige Hinweise geben können und entsprechend aufbereitet werden sollten.

Projekt Bebi: Baumartenanteile

Retrospektive Analyse der Veränderung der Höhenverbreitung der Baumarten anhand von LFI-Daten (S. 17-23) und Literatur; Zusammenfassung auf S. 23-24, Abschnitt 6

Zusammenfassung: Das Projekt untersuchte anhand eigener Auswertungen (Felduntersuchungen, Arealstatistik, LFI), Ergebnissen aus anderen Forschungsarbeiten und Klimaszenarien, welche Auswirkungen der Klimawandel auf die Schutzwirkung gegen Lawinen hat und leitete daraus Handlungsempfehlungen ab. Diese sind in der Folge aufgeführt. Im Rahmen des Projektes wurden unter anderem retrospektive Analysen zur Veränderung der Höhenverbreitung der Baumarten anhand von Arealstatistik und LFI-Daten (S. 17-23) und Literatur durchgeführt. Es kommt unter anderem zum Schluss, dass es schwierig ist, klimabedingte Veränderungen von nutzungsbedingten Änderungen zu trennen, gewisse Trends aber abgeleitet werden können.

Unsere Beurteilung: Die Beurteilung, dass die retrospektiv beobachteten Veränderungen in der BA-Verbreitung hauptsächlich durch die Bewirtschaftung und Störungen verursacht wurden, durch den Klimawandel aber in Zukunft wahrscheinlich verstärkt werden, wird von uns unterstützt, ebenso die Empfehlung, Laubholz- und Tannenanteile in Fi-Beständen zu fördern.

Projekt Körner: Höhenverbreitung von Laubbaumarten

Untersuchung auf Transekten in den Kt. VS und GR; Verbreitung von „Jungbäumen“ als Hinweis auf Veränderungen in der Höhenverbreitung

Zusammenfassung: Das Projekt untersuchte die Höhenverbreitung von v.a. Laubbaumarten auf Transekten entlang von Höhengradienten in den Kt. VS und GR. Die Tatsache, dass Jungbäume in höheren Lagen wachsen als die Altbäume derselben Art, wird als Hinweis auf Veränderungen in der Höhenverbreitung interpretiert. Die Bäume werden wie folgt klassiert: Seedling (Keimling/Sämling): Höhe bis 50 cm. Sapling (Jungbäume): Höhe 50 cm bis 4 m oder Höhe über 4 m und BHD < 15 cm. Adult (Adultbäume): Höhe über 4 m und BHD > 15 cm. Die Lage der Transekte ist aus der Abbildung 5-1 des Grundlagendossiers ersichtlich.

Unsere Beurteilung: Interessanter Ansatz; zahlreiche Fragezeichen:

- Verwendete Klimadaten: referenziert werden Zimmermann/Kienast 1999 → heute stehen wahrscheinlich bessere Interpolationen zur Verfügung?
- Gebietswahl: es wird vermutet (z.B. Projekt Abenis), dass die Buchen-Verbreitung u. A. durch Kontinentalität limitiert wird. Sowohl bei Martigny wie auch Chur spielt diese bereits eine Rolle. Bei den Transekten im Wallis, in Untervaz und Haldenstein ist die Buche noch vorhanden, beim Transekt im Schanfigg ist die Buche am äussersten Rande ihres Verbreitungsgebietes.
- Die Verwendung der Baumhöhe/BHD¹ als Synonym für das Baumalter scheint uns problematisch: a) eine 4 m hohe Buche kann bereits recht alt sein und b) gerade entlang von Höhengradienten kann ein 15 cm dicker Baum in unteren Lagen viel jünger sein als in höheren Lagen → Auf Anfrage durch das Projektteam ist die Autorenschaft der Meinung, mit der gewählten Klassifizierung werde das Problem weitgehend gelöst; das Projektteam ist diesbezüglich anderer Meinung.
- In der Diskussion wird erwähnt, dass davon ausgegangen wird, dass die Veränderungen auf den Klimawandel und nicht auf die Bewirtschaftung zurückzuführen sind, da die Transekte in sehr unzugänglichen Gebieten gewählt wurden. Die meisten Transekte liegen aber in der Umgebung von Strassen, das deutet darauf hin, dass Bewirtschaftung stattgefunden hat. Gemäss R. Métral liegen zwei der drei Transekte im Unterwallis in bewirtschafteten Gebieten. Laubbäume wurden in den vergangenen Jahrhunderten vielerorts konsequent "weggepflegt", sodass es sich bei einem Anstieg dieser Baumart vielerorts sozusagen um eine "Rückeroberung" von früher besiedeltem Gebiet und nicht um eine "Neueroberung" handeln könnte. Das 3. Transekt im Wallis liegt auf der Krete des Rhoneknies, nach R. Métral wechseln dort die Standortverhältnisse je nach Kleinstandort (v. a. Exposition) sehr rasch, die Standortverhältnisse wurden aber bei der Interpretation nicht berücksichtigt.
- In der Diskussion wird erwähnt, dass sich die Ansprüche von jungen und alten Bäumen unterscheiden. Es ist nicht ausgeschlossen, dass es schon früher junge Bäume oberhalb der Verbreitungsgrenze der Adultbäume gab, diese es aber nicht in eine höhere Altersklasse schafften. Dazu müsste eigentlich die Verbreitung von seedlings und saplings von früher mit der heutigen Verbreitung derselben Durchmesserklasse verglichen werden (siehe Projekt Küchler).
- Übertragbarkeit der Resultate auf andere Regionen fraglich → beschränkter Anwendungsbereich.

→ **Vorsichtig zu interpretieren; für Förster Hinweis, dass einzelne BA in Zukunft auch in höheren Lagen zukunftsfähig sein könnten und dass vorhandene Naturverjüngung allenfalls auch oberhalb des aktuellen Verbreitungsgebietes gefördert werden kann.**

¹ Einteilung der Altersklassen:

Keimlinge/Sämlinge:	Höhe 0.0-0.5 m
Jungbäume:	Höhe 0.5-4 m oder Höhe > 4 m und BHD < 0.15 m
Adultbäume:	Höhe > 4 m und BHD > 0.15 m

Projekt Kuchler: Höhenverschiebung in Kraut-/Baumvegetation

Untersuchung der Veränderung der Kraut- und Baumvegetation als Hinweis auf zukünftige Verschiebungen in der Höhenverbreitung von Baumarten

Zusammenfassung: Das Projekt untersucht anhand historischer sowie LFI-Daten die Veränderung der Kraut- und Baumvegetation als Hinweis auf zukünftige Verschiebungen in der Höhenverbreitung von Baumarten. Das Projekt kommt zum Schluss, dass bisher lediglich bei den Kräutern Verschiebungen, welche auf die Klimaerwärmung zurückzuführen sind, zu erkennen sind und dass die Veränderungen bei den Baumarten hauptsächlich auf die Nutzungsgeschichte, Störungen und Extremereignisse zurückzuführen sind. Die Autoren gehen aber davon aus, dass sich in Zukunft zeitverzögert auch bei den Baumarten klimabedingte Veränderungen ergeben können. Version März 2013.

Unsere Beurteilung: Interessante Arbeit, die eine der Einschränkungen des Projektes Körner (Vergleich Verbreitung Jungbäume früher – heute) zumindest teilweise löst.

- Aus dem Bericht werden diverse Details zu den Daten sowie den Auswertungen nicht klar. Die Abbildungen sind z.T. schwierig zu verstehen. Die im Text beschriebenen Veränderungen sind in den Grafiken z.T. schwierig zu erkennen.
- Die Schlussfolgerung, dass grossflächiges Absterben heute verbreiteter Baumarten nicht wahrscheinlich sei, scheint ohne eine Betrachtung der Mortalität sehr gewagt.

→ Interessante Datenauswertungen, die gewisse Trends aufzeigen. Die Schlussfolgerung, dass der Klimawandel auch in den nächsten Jahrzehnten eine untergeordnete Rolle spielen wird, wird von uns nicht unterstützt. Es ist unklar, ob bei den Baumarten in Zukunft mit einer Verschiebung bei der Höhenverbreitung gerechnet werden muss.

Projekt Lüscher: Einwachsen der Bu auf bisherigem Ta-Fi-Standort (Nr. 46)

Untersuchung der Veränderung der Durchwurzelungssituation und damit Hochwasserschutzfunktion bei Einwachsen der Buche auf Fi-Ta-Standort Nr. 46

Zusammenfassung: Das Projekt untersucht die Auswirkungen klimatisch bedingter Veränderungen der Baumartenzusammensetzung auf die Durchwurzelungssituation und bodenhydrologische Prozesse in Waldböden. Es wird davon ausgegangen, dass die Waldgesellschaft 19f (Waldsimen-Tannen-Buchenwald) die Waldgesellschaft Nr. 46 (Heidelbeer-Tannen-Fichtenwald) in gewissen Höhenlagen ersetzen wird. Es wird der Frage nachgegangen, welchen Einfluss ein höherer Buchenanteil auf die Durchwurzelungssituation und die Hochwasserschutzwirksamkeit haben wird. Das Fazit ist, dass ein höherer Buchenanteil nicht zu einer schlechteren Durchwurzelung führt, falls die Buche die Fichte (nicht die Tanne) ersetzt.

Unsere Beurteilung: Interessante Untersuchung; bezieht sich nur auf sehr spezifischen Standort und ist nicht grossflächig umsetzbar. Empfehlung an Förster: Falls im typischen Heidelbeer-Tannen-Fichtenwald (46) Buchen vorhanden sind und auch in Zukunft erwartet werden, sollten sie gefördert werden, sofern dadurch Fichten ersetzt werden.

Bugmann, Skript Waldökologie:

Zusammenfassung: Ausserhalb des Forschungsprogrammes Wald und Klimawandel sind im Skript zur Vorlesung Waldökologie (ETH, Prof. H. Bugmann) nützliche Hinweise zur Reaktion von Baumarten auf verschiedene Faktoren zu finden. Die entsprechenden Tabellen wurden für die Workshops verwendet (*Quelle: Skript Waldökologie, H. Bugmann, Version 2012,*

https://www1.ethz.ch/fe/education/teaching_material_secured/05_WOek_Skript_H12_Web.pdf).

Veränderung der Baumartenvorkommen auf Grund von Trockenheit**Projekt Siegwolf:**

Reaktion von Nadelbaumarten auf Trockenheit an trockenen und mittleren Standorten anhand von Jahrring- und Kohlenstoff-/Sauerstoffisotopen-Analysen

Zusammenfassung: Das Projekt untersucht die Reaktion von fünf Nadelbaumarten (Fichte, Lärche, Waldföhre, Schwarzföhre und Douglasie) auf Trockenheit an trockenen (Aostatal) und mittleren Standorten (Biel) anhand von Jahrring- und Kohlenstoff-/Sauerstoffisotopen-Analysen. Es wird gezeigt, dass einzelne Baumarten stark auf Trockenheit reagieren und daraus wird gefolgert, dass unter der prognostizierten Klimaveränderung v.a. die Fichte und die Lärche auf trockenen Standorten Probleme bekommen werden. Die Ergebnisse auf den mittleren Standorten zeigen, dass die CO₂-Düngung auf Grund von Trockenheit nicht unbedingt zu höherem Wachstum führen muss, wie dies in anderen Studien gezeigt wird.

Unsere Beurteilung: Interessante Erkenntnisse bezüglich Trockenheitstoleranz von Fichte, Lärche, Waldföhre, Schwarzföhre und Douglasie. Entsprechende Beobachtungen wurden von R. Métral bei Martigny nach 2003 für die Lärche gemacht. P. Bebi beobachtete bei Davos in den höheren Lagen bisher nur positive Reaktionen und keine Probleme wegen Trockenheit der Lärche. Es wird nicht gezeigt resp. quantifiziert, unter welchen Bedingungen die entsprechenden Baumarten nicht mehr wachsen können resp. absterben (wäre z.B. im Zusammenhang mit der Anwendung von Trockenheitskarten interessant). Untersuchungen (auf trockenem Standort) wurden in den kontinentalen Hochalpen durchgeführt → Resultate sollten nicht auf andere Regionen übertragen werden. Bei oberflächlicher Trockenheit dürfte die Fichte schneller und stärker betroffen sein als die Lärche.

→ **Hinweis, dass Fichte und Lärche (in den kontinentalen Hochalpen (Region 3 nach NaiS)) auf bereits heute trockenen Standorten Probleme bekommen werden und sie auf den trockenen Standorten bereits an ihrer physiologischen Wachstumsgrenze sind.**

Projekt Bebi :

An extrem trockenen Standorten kann erhöhte Mortalität bei der Waldföhre beobachtet werden (S.16)

Unsere Beurteilung: Es scheint plausibel, dass die Waldföhre auf Standorten, die bereits an der (bezgl. Trockenheit) physiologischen Grenze der Waldföhre liegen, bei verstärkter Trockenheit vermehrt Probleme bekommt und teilweise grossflächig absterben wird. Es ist interessant, dass sich dies im Wallis bereits zeigt.

Geschwindigkeit der Veränderungen in der Baumartenzusammensetzung**Projekt Bebi:**

Zusammenfassung auf S. 24/25, Pkt. 6

Unsere Beurteilung: Das Fazit aus den Beobachtungen auf den LFI-Probeflächen, dass Veränderungen bei den Baumartenanteilen relativ langsam ablaufen (wobei „langsam“ nicht quantifiziert wird), durch Störungen aber beschleunigt werden können, scheint uns sehr plausibel.

Entwicklung der Wald-Biomasse**Projekt RetroPro**

Simulationen der Waldentwicklung mit und ohne Klimawandel

Zusammenfassung: Im Projekt RetroPro wird die Waldentwicklung für verschiedene Straten unter Berücksichtigung von verschiedenen Eingriffen mit dem Modell ForClim simuliert. Stratifiziert wurde auf Grund der Standortsregionen, Höhenstufen, Bestandesaufbau, Bestandesalter und (beschränkt) Standortseigenschaften. Das Projekt ist noch nicht abgeschlossen; es liegt eine Pilot-Masterarbeit vor, in welcher Simulationen für 6 Straten durchgeführt wurden (OS1 = obersubalpin/stufig, OS2 = obersubalpin/einschichtig, SA1 = subalpin/stufig, SA2 = subalpin/einschichtig, SM1 = submontan/Baumholz 3/mehrschichtig, SM2 = submontan/Baumholz 2/mehrschichtig).

Unsere Beurteilung: Weitere Verbesserung der Waldentwicklungssimulation, welche eine wertvolle Entscheidungshilfe sein kann. Die Vorratsentwicklung ist für die Praxis eine wichtige Kenngrösse für die Abschätzung von Entwicklungen → sollte nach Abschluss so aufbereitet werden, dass es für die Praxis zugänglich wird.

Für die Beurteilung der Simulationsresultate sollten folgende Limitierungen beachtet werden:

- Die Modellierung der Verjüngung basiert auf relativ einfachen Annahmen (minimale Wintertemperatur, Lichtverfügbarkeit, Verbissdruck, jährliche Tagesgradsumme). Nicht berücksichtigt werden entscheidende Faktoren wie Bodenvegetation, Schneegleiten, Schneeschimmel und Samenverfügbarkeit.
- Generell wird nicht zwischen saurem und basischem Untergrund unterschieden.
- Für die Exposition und Hangneigung wurden Mittelwerte aus den LFI-Probeeflächen verwendet, d.h. die Resultate sind nicht für Extremstandorte anwendbar.
- Für die Klimadaten werden DayMet-Daten resp. für die Klimaszenarien 5 Grossregionen verwendet; diese Grundlagen sind im Vergleich zu heute verfügbaren Klimadaten und -modellen eher grob.
- Für die nutzbare Feldkapazität und den Stickstoffeintrag werden überall die gleichen Werte verwendet (die verwendeten Werte sind dem Projektteam nicht bekannt), welche mittlere Standorte repräsentieren → für trockene Standorte sind die Simulationen somit eher zu optimistisch.
- Auf Grund eines Rechnungsfehlers in ForClim wurden in der Pilotstudie die Vorräte um einen Faktor 2 unterschätzt. Im Anhang 2 – Grundlegendossier sind noch die unkorrigierten Daten enthalten. Dies bedeutet, dass der strukturelle Umbau generell schneller ablaufen dürfte und die Schutzwirkung generell besser zu erwarten ist als modelliert. Für die subalpinen Straten ergeben sich dadurch allerdings keine grundlegenden Änderungen in der Aussage.
- Die verwendeten Indizes sehen plausibel aus, die entsprechenden Entwicklungen sind aber auch in den Abbildungen zum Vorrat und zur Stammzahl sichtbar, die Indizes sind vor allem für die Wissenschaft wichtig.

Projekt Bugmann / Elkin:

Modellierung der Entwicklung der Wald-Biomasse und (abgeleitet davon) der Waldleistungen unter Berücksichtigung verschiedener Bewirtschaftungsstrategien

Zusammenfassung: Das Projekt simuliert die Wald-Biomasseentwicklung mit dem Simulationsprogramm LandClim unter Einbezug verschiedener Bewirtschaftungsstrategien für das Saas-Tal und die Region Davos. Zudem werden Indizes hergeleitet, auf Grund welcher die Entwicklung von Ökosystemleistungen unter Klimawandel einerseits bezüglich Biodiversität und andererseits bezüglich Schutz vor gravitativen Naturgefahren abgeschätzt werden kann.

Unsere Beurteilung: Die Simulation mit LandClim hat im Vergleich zu ForClim den Vorteil, dass die Entwicklung grösserer Flächen – in diesem Fall ein ganzes Tal – simuliert werden kann. Die ökologischen Faktoren werden in LandClim sicher nicht besser, eher einfacher als in ForClim berücksichtigt → siehe entsprechende Einschränkungen. Die Art der Eingriffe ist nicht klar beschrieben und die Autoren gaben bis zum Druckzeitpunkt dieses Dokumentes keine Antwort. Die Indizes geben interessante Hinweise auf die Entwicklung von Ökosystemleistungen, sind aber hauptsächlich für die Forschung interessant.

Gemäss Beurteilung von P. Bebi ist die Modellierung des Baumwachstums grundsätzlich ok, die örtliche Verteilung ist aber z.T. problematisch (z.B. plötzlich Bäume auf Zwergstrauch-Flächen). Veränderungen in den oberen Lagen werden eher zu schnell modelliert.

→ **Interessante Hinweise, kann nicht 1:1 umgesetzt werden.**

Projekt Bebi:

In subalpiner Stufe ist mit einer weiteren Dichtezunahme zu rechnen

Unsere Beurteilung: Die Dichtezunahme kann mindestens teilweise auch darauf zurückgeführt werden, dass sich viele subalpine Wälder in der Schweiz in einem Stadium der Vorratsanhäufung befinden → unabhängig vom Klimawandel. Diese Effekte sollten unterschieden werden.

3.1.3 Veränderung ausgewählter verjüngungsökologischer Faktoren als Grundlage für waldbauliche Entscheidungen

Auf Grund der in der Folge aufgeführten Grundlagen können am jeweiligen Standort Überlegungen angestellt werden zu folgenden Themen (Liste nicht abschliessend): Mächtigkeit der Schneedecke, Nassschneefälle, Schneegleiten, Schneeschimmel, Lawinentätigkeit, Ausaperungszeitpunkt, Wintertemperatur, Spätfröste, Vegetationsperiode, Hitzeperioden, Wasserversorgung/Trockenstress, Strahlung (Globalstrahlung), Luftfeuchtigkeit, Humusform, Konkurrenzvegetation, Stickstoffeinträge, Schädlinge, Samenangebot resp. Zusammensetzung des Altbestandes (siehe oben), Deckungsgrad, etc.

Klimadaten (Temperatur, Niederschlag, relative Feuchte, Globalstrahlung, Schönwetterstrahlung, Windgeschwindigkeit)

Projekt Remund (Teilprojekt Klimadaten):

Modellierung diverser Klimaparameter

Zusammenfassung: Modellierung diverser Klimaparameter für das Szenario A1B mit drei regionalen Klimamodellen (CLM – trocken, RCA – mittel, REGCM3 – feucht) bis 2100 für die gesamte Schweiz unter Berücksichtigung von regional bedingten CH-spezifischen Klimagrenzen.

Unsere Beurteilung: Wichtigste Grundlage für die Abschätzung der Veränderung der Wachstumsbedingungen auf der Ebene „Hinweiskarte“. Muss in eine Form gebracht werden, in der sie für Waldbauer einfach abrufbar zur Verfügung gestellt werden kann (z.B. auf map.geo.admin.ch o.ä.). Gemäss P. Brang basieren die Szenarien „feucht“, „mittel“ und „trocken“ alle auf dem A1B Szenario. Je nachdem wie gross zum Beispiel die mediterranen Einflüsse werden, wird sich das Klima in den Alpen unterschiedlich entwickeln. Gemäss Angaben der Programmleitung ist die „feuchte“ Variante wenig realistisch.

Projekt Huber (Abenis, Teilprojekt Klimadaten):

Modellierung diverser Klimaparameter für den Zeitraum 1960-1990 mit hoher räumlicher Auflösung für die gesamte Schweiz unter Berücksichtigung von CH-spezifischen Klimagrenzen

Zusammenfassung: Im Rahmen des Projektes Huber wurden diverse Klimaparameter für den Zeitraum von 1960 bis 1990 mit hoher räumlicher Auflösung für die gesamte Schweiz modelliert. Dabei wurden regional bedingte Klimagrenzen berücksichtigt.

Unsere Beurteilung: Im Vergleich zu den Klimadaten von Remund räumlich höher aufgelöst, aber nicht für Zukunft berechnet. Weitere Parameter berücksichtigt resp. berechnet (Kaltluftseen, thermische Kontinentalität). Bildet wahrscheinlich v.a. die Temperaturverhältnisse der Vergangenheit noch etwas besser ab als die Daten von Remund. → Vergleich mit Daten von Remund kann evtl. Grenzen / Einschränkungen der Daten von Remund aufzeigen. Der Vergleich mit den Daten von Remund zeigt allerdings z.T. grosse Abweichungen. Dies kann einerseits durch die unterschiedliche Auflösung (250 m x 250 m bei Remund, 25 m x 25 m bei Zraggen), andererseits durch die gutachtliche gesetzten Grenzen bei Zraggen entstehen.

Die Modellergebnisse von Zimmermann und RetroPro könnten mit den Klimadaten von Zraggen verbessert werden → ist im Rahmen des Folgeprojektes „Adaptierte Ökogramme“ resp. im Rahmen von RetroPro vorgesehen.

Trockenstress

Projekt Remund (Teilprojekt Trockenstress):

Trockenheitskarten, aktuell und unter Klimawandel

Zusammenfassung: Das Projekt erstellte, basierend auf über 1200 Bodenprofilen verteilt über die ganze Schweiz, eine Karte der nutzbaren Feldkapazität (= nutzbare Wasserspeicherkapazität nWSK) und berechnete anschliessend flächendeckend das Verhältnis aktuelle – potentielle Evapotranspiration (ETA/ETP) für das heutige Klima und unter Klimawandel. Dieses Verhältnis wurde in einem Vorgängerprojekt als bester Index für Trockenheit beurteilt. Zur Verfügung stand die nFK-Karte Version 2012.

Unsere Beurteilung: Sehr interessante Grundlage für Hinweise zur Verjüngungsökologie. Grosse Unterschiede je nach Szenario → liegt in der Natur der Sache. Ob die Zukunftskarten auf den exakten Standort angewendet werden können, muss anhand eines Bodenprofils und einer Abschätzung der nWSK vor Ort überprüft werden (siehe Anwendung auf die Fallstudienstandorte): Stimmt die abgeschätzte nWSK mit der nWSK gemäss Remund überein, kann davon ausgegangen werden, dass auch die Trockenheit am Ort in Etwa dem modellierten Trockenheit entspricht. Wir sehen folgende Einschränkungen:

- Die Karte ist in der heutigen Form schwierig zu lesen (man sieht nicht wo man ist).
- Die Gültigkeit zu überprüfen ist sehr aufwändig (mit Bodenprofil)

Ein grundsätzliches Problem besteht darin, dass aus der Trockenheitskarte zwar ersichtlich wird, wie sich die Trockenheit entwickelt, aber noch längst nicht, was das für die Verjüngung einzelner Baumarten heisst! → die Reaktion der Baumarten resp. Auswirkungen auf die Verjüngungsökologie auf allfälligen Trockenstress muss anhand anderer Grundlagen abgeschätzt werden resp. ist z.T. kaum bekannt. Aus dem Projekt Abenis können diesbezüglich Resultate zu einigen Baumarten erwartet werden (erste Hinweise: Buche bekommt Probleme bei Werten < 50).

→ Die Anwendung gestaltet sich insgesamt sehr anspruchsvoll!

Projekt TroLiFa:

Pflanzungs-/Beregnungsexperimente

Zusammenfassung: Es wurden Saatexperimente unter Regendächern mit den Baumarten Fichte, Föhre, Tanne, Buche und unterschiedlichen Provenienzen durchgeführt. Die Regendächer waren zu klein, um einen Einfluss auf die Bodenfeuchte zu erzeugen. Die Ausfälle waren bei Buche und Tanne zu gross, so dass zu diesen Baumarten keine Aussagen gemacht werden konnten. Die Experimente zeigen unter anderem, dass die Waldföhre unter deutlich trockeneren Bedingungen keimen und aufwachsen kann als die Fichte und dass die Fichte auf trockenen Standorten sogar in feuchten Jahren Mühe hat, aufzukommen und stark auf verjüngungsgünstige Bedingungen im Frühling/Sommer angewiesen ist.

Unsere Beurteilung: Für die Waldföhre wird gezeigt, dass unter trockenen Verhältnissen deutlich weniger Biomasse produziert wird als unter feuchten; es wird aber nicht aufgezeigt, bei welchen Bedingungen die Grenzen der Wachstumsfähigkeit liegt. Damit bestätigt das Projekt grundsätzlich das vorhandene Wissen zur Verjüngungsökologie dieser beiden Baumarten und untermauert es mit Fakten.

- Brauchbare, aber eigentlich bereits bekannte Hinweise bezüglich Verjüngungsökologie
- beschränkt auf Waldföhre und Fichte

Projekt Rebetez:

Untersuchung Mikroklima in dichten/offenen Wäldern im Vergleich zum Offenland

Zusammenfassung: Das Projekt untersuchte den Einfluss der Kronenbedeckung auf das Bestandesklima auf feuchten/mittleren und trockenen Standorten im Vergleich zum Offenland. Das Projekt kommt zum Schluss, dass die Trockenheit zu im Vergleich zu heute schüttereren Kronen führt, womit mehr Strahlung auf den Boden trifft, der Boden stärker austrocknet und somit ein geringerer ausgleichender Einfluss der Kronenbedeckung auf das Mikroklima resultiert, als bei feuchterem Boden der Fall wäre. Durch den höheren Lichteinfall wird zusätzlich die Vegetationskonkurrenz höher. Das bedeutet, dass Entlaubung durch Trockenheit sowie die Verlängerung der Vegetationsperiode Faktoren sind, die langfristig dazu führen, dass v.a. auf bereits heute trockenen Standorten die Naturverjüngung von heute dort standortgerechten Baumarten nicht mehr (oder nur noch kleinstandörtlich) funktioniert.

Unsere Beurteilung: Sehr interessante Erkenntnisse/Erklärungen von ökologischen Vorgängen und Zusammenhängen. Unterstützt Vermutung, dass Bestände auf bereits heute eher trockenen Standorten problematisch werden.

→ Stützt die Theorie von eher kleinflächigen Eingriffen auf trockenen Standorten: V.a. dort sollte eine Reduktion der Beschattung möglichst verhindert werden, um die Bodenaustrocknung nicht zu verstärken und einen möglichst ausgleichenden Effekt der Kronenbedeckung zu erhalten → dies führt allerdings zu einem Trade-Off mit der Verfügbarkeit von Bodenwasser. Diese Effekte sind nach wie vor wenig untersucht. Das Projekt liefert zudem den Hinweis, dass v.a. auf bereits heute trockenen Standorten verstärkt nach alternativen Baumarten gesucht werden sollte.

Schnee

Projekt Bebi:

Abschätzungen der Entwicklung der Schneebedeckung (S. 26-27, resp. S. 34)

Die Tabelle 2 aus dem Schlussbericht zum bereits oben erwähnten Projekt Bebi enthält eine übersichtliche Zusammenstellung der erwarteten Klimaänderungen unter dem Szenario A1B (Quelle: Bebi 2012, Tab. 2, S.26).

Tab. 2: Erwartete Veränderungen aufgrund des A1B-Klimaszenario¹ (welches dem Programm „Wald und Klimawandel“ zugrunde liegt). Quelle: CH2011 (2011) und Bavay et al. (2012)

	Referenzperiode	Referenzgebiet	2020-2049	2070-2099
Sommertemperaturen	1980-2009	Schweiz	+ 0.9-1.4 °C	+ 3.5 – 4.3 °C
Wintertemperaturen	1980-2009	Schweiz	+ 0.9-1.4 °C	+ 2.9-3.5°C
Niederschlag Sommer	1980-2009	Schweiz	Kein Trend	- 18-24%
Niederschlag Winter	1980-2009	Schweiz	Kein Trend	+ 0-20% ²
Schneebedeckungsdauer ³	2001 - 2010	Graubünden	- 2-4 Wochen	- 4-9 Wochen
Sommertrockenheit	Mehr Trockenheitsperioden im Sommer erwartet wegen höherer Verdunstung und früherer Schneeschmelze, aber bisher kein robuster Trend.			
Winterstürme	Aufgrund von prozess-basierten Betrachtungen eher grössere Gefährdung erwartet, aber bisher kein robuster Trend.			
Schneefallextreme	Unklar, Erwärmung und Erhöhung von Winterniederschlägen sind sich konkurrenzierende Faktoren.			

¹ Das A1B-Szenario ist ein „Höheres Emissionsszenario“ das von starkem Wirtschaftswachstum, Einführung effizienterer Techniken, der Nutzung fossiler und erneuerbarer Energien und einem Anstieg der Weltbevölkerung bis Mitte des 21. Jahrhunderts ausgeht.

² Je nach Region verschieden; Niederschlagszunahmen sind vor allem in der Südschweiz zu erwarten.

³ Aufgrund von Bavay et al. (2012)

Unsere Beurteilung: Grundsätzlich plausible Darstellung des Einflusses der Klimaszenarien auf die Entwicklung der Schneebedeckung:

- Generell ist mit einer Abnahme der Mächtigkeit der Schneedecke zu rechnen
- Anzahl Tage mit einer bestimmten Gesamtschneehöhe nimmt ab
- Nassschneefälle nehmen in höheren Lagen zu
- Schneegleiten nimmt eher zu, steigt aber eher in höhere Lagen auf. Tendenz wird verstärkt durch höheren Laubholzanteil.
- Heute bekannte Schneesituation verschiebt sich bis 2100 um ca. 500 Höhenmeter.

Die Unsicherheiten sind allerdings relativ gross, die Klimaszenarien bezüglich Trockenheit unsicherer sind als bezüglich Temperatur, es wird eine grosse Variabilität der Schneedecke erwartet. Quantifizierungen sind auf Grund der Unsicherheiten in den Niederschlagsmodellen schwierig. Extremereignisse im heute bekannten Ausmass (welche oftmals entscheidend sind), sind weiterhin möglich.

➔ Brauchbare Hinweise bezüglich Verjüngungsökologie

3.1.4 Handlungsalternativen

Projekt Brang: Beurteilung des naturnahen Waldbaus im Zusammenhang mit Klimawandel
<p>Zusammenfassung: Der Artikel von P. Brang und einem internationalen Autorenteam beurteilt die Eignung des naturnahen Waldbaus (in 3 Ausprägungen). Es werden sechs Prinzipien des naturnahen Waldbaus formuliert und der Beitrag waldbaulicher Praktiken zu diesen Prinzipien evaluiert. Der Artikel kommt zum Schluss, dass viele Praktiken des naturnahen Waldbaus geeignet sind für die Anpassung an den Klimawandel; Verbesserungsmöglichkeiten sieht das Autorenteam bei den Verjüngungsmethoden und empfiehlt vermehrt Massnahmen zur Förderung von Lichtbaumarten und nicht-einheimischer Baumarten und Provenienzen.</p> <p>Unsere Beurteilung: Interessante Grundlage zur Beurteilung von Handlungsalternativen im Zusammenhang mit Waldbewirtschaftung unter Berücksichtigung des Klimawandels. Aus Sicht des Projektteams sind einzelne als Prinzipien formulierte Punkte eher den Massnahmen zuzuordnen. Für die Umsetzung einfacher verständlich wäre zudem die Formulierung von Zielen und zu deren Erreichung nötigen/möglichen Massnahmen. Ein Beispiel für eine angepasste Tabelle wird an den Workshops diskutiert, die Grundlage dazu ist die Tabelle 3-1.</p>

Projekt Bebi: Kap. 7 Empfehlungen: Beurteilung des naturnahen Waldbaus im Zusammenhang mit Klimawandel
<p>Zusammenfassung: Das Kap. 7 aus dem Projekt Bebi enthält zahlreiche Handlungsempfehlungen, welche im Rahmen der Workshops diskutiert wurden und in die Tabelle 3-1 einfließen.</p>

Tabelle 3-1: Prinzipien resp. Praktiken des naturnahen Waldbaues (nach Brang et al. (2014), ergänzt und angepasst)

Massnahmen \ Ziele	Erhöhung Baumartenvielfalt	Erhöhung Strukturvielfalt	Erhaltung/Erhöhung genetische Variation der Baumarten	Erhöhung der Widerstandskraft von Baumindividuen gegen biotische und abiotische Einwirkungen	Ersetzen von Hoch-Risiko-Beständen	Förderung von Vorverjüngung	Quelle/erwähnt bei	Bemerkungen
Einzelbaumweise Nutzung		X		X			Brang	
Verjüngungsschläge	X	X	X				Brang	
Lange Verjüngungszeiträume		X	X			X	Brang, Bebi	Bebi: S. 75
Erhaltung von Samenbäumen	X	X	X				Brang	
Naturverjüngung	X	X	X	(X)			Brang	
Pflanzungen, Saathilfen	X						Brang, Zimmermann, Wohlgemuth	Wohlgemuth: findet keine positiven Auswirkungen von Saathilfen
Einführen von anderen Provenienzen standortheimischer Baumarten			X				Brang, Wohlgemuth	Wohlgemuth: findet im Keimlings-/Anwuchsstadium keine Unterschiede zwischen den Provenienzen
Jungwuchspflege	X						Brang	
Durchforstung	(X)	X		X			Brang, Bebi	Bebi: Durchforstung wird wegen Verdichtungstendenz auch in der subalpinen Stufe zunehmend wichtig (S. 8-9); Durchforstungen

Massnahmen	Ziele	Erhöhung Baumartenvielfalt	Erhöhung Strukturvielfalt	Erhaltung/Erhöhung genetische Variation der Baumarten	Erhöhung der Widerstandskraft von Baumindividuen gegen biotische und abiotische Einwirkungen	Ersetzen von Hoch-Risiko-Beständen	Förderung von Vorverjüngung	Quelle/erwähnt bei	Bemerkungen
									können in Föhrenwälder allenfalls Trockenstress vermindern (S. 16) Projektteam: nicht überall praktikabel (z.B. im Seilkrangelände)
	Reduktion von Holzernteschäden				(X)			Brang	
	Verkürzung der Eingriffsturni				X	X	X	Brang	Projektteam: Oft finanzielle Restriktionen
	Kontrolle der Wildbestände	X	X		(X)			Brang	
	Förderung von Laubbaumarten und Tanne in Fichtenbeständen	X	X					Bebi	Bebi: S. 24/25
	Angepasste Lückengrösse		X			X		Brang, Bebi, Rebetez	Brang/ Projektteam: selbst Lichtbaumarten brauchen nicht mehr als 0.3ha Lückengrösse Bebi: grössere Eingriffe schaffen grössere Vielfalt an Licht-/Wasserhältnissen → Nischen für Baumarten mit unterschiedlichen Ansprüchen (S.16).

Ziele Erhöhung Baumartenvielfalt Erhöhung Strukturvielfalt Erhaltung/Erhöhung genetische Variation der Baumarten Erhöhung der Widerstandskraft von Baumindividuen gegen biotische und abiotische Einwirkungen Ersetzen von Hoch-Risiko- Beständen Förderung von Vorverjüngung Quelle/erwähnt bei	Ziele	Erhöhung Baumartenvielfalt	Erhöhung Strukturvielfalt	Erhaltung/Erhöhung genetische Variation der Baumarten	Erhöhung der Widerstandskraft von Baumindividuen gegen biotische und abiotische Einwirkungen	Ersetzen von Hoch-Risiko- Beständen	Förderung von Vorverjüngung	Quelle/erwähnt bei	Bemerkungen
Massnahmen									
Einsatz von Totholz		X					X	Bebi	Rebetez: v.a. auf trockenen Standorten nicht zu grosse Lücken schaffen, um Trockenheit nicht zu verstärken Bebi: S. 47
Genaue Beobachtung der Entwicklungen								Zimmermann	Projektteam: Bei der Problematik Klimawandel kommt man mit Beobachtungen schnell an Grenzen, da die Ergebnisse u.U. zu spät kommen, um reagieren zu können.

3.2 Fallstudienflächen

Die Lage sowie eine detaillierte Beschreibung der Fallstudienflächen sind in den Anhängen A1-1 bis A1-3 (Beschreibung der Fallstudienflächen) enthalten. Darin ist pro Fallstudienfläche ein Kartenausschnitt, Ökogramm, Fotos von Bestand und Boden, NaiS-Formular 2 und Aufnahmeprotokoll zum Bodenprofil enthalten. In der Folge sind die Eckdaten der neun Fallstudienflächen aufgeführt.

3.2.1 Standortregion 1 (nördliche Randalpen): Schwanden GL

Eckgaden

Höhenstufe:	untermontan
Waldstandort:	8a(BI): Typischer Waldhirschen-Buchenwald (mit Blockschutt)
Boden:	Humusform: Moder Bodentyp: Braunerde nWSK (abgeschätzt aus Bodenprofil): 152 mm
Bestandesgeschichte:	ca. 80-jähriges Baumholz aus Aufforstung entstanden.
Wildsituation:	Gemäss Überblick 2012 und Stichprobenaufnahmen starker Verbiss v.a. der Mischbaumarten

Melchstein – Baumholz

Höhenstufe:	obermontan
Waldstandort:	19(BI): Typischer Waldsimmen-Tannen-Buchenwald (mit Blockschutt)
Boden:	Humusform: Moder Bodentyp: Braunerde nWSK (abgeschätzt aus Bodenprofil): 93mm
Bestandesgeschichte:	nach Brand von Glarus (1861) wurde der Glarner Hohwald abgeholzt und vermutlich zum grossen Teil aufgeforstet.
Wildsituation:	Gemäss Überblick 2012 und Stichprobenaufnahmen starker Verbiss v.a. der Mischbaumarten

Achseli

Standortregion, Höhenstufe:	Subalpin
Waldstandort:	53 Zwergbuchs-Fichtenwald
Boden:	Humusform: Moder Bodentyp: Ranker nWSK (abgeschätzt aus Bodenprofil): 84mm
Bestandesgeschichte:	Nicht bekannt
Wildsituation:	Gemäss Überblick 2012 Gefährdung einzelner oder mehrerer Baumarten auf Grund von Verbiss

3.2.2 Standortregion 3 (kontinentale Hochalpen): Grengiols

Grengiols 65*: collin

Standortregion, Höhenstufe:	Grenze 2b/3; collin
Waldstandort:	65* Hauhechel-Föhrenwald
Boden:	Humusform: Xeromoder Bodentyp: Regosol Nutzbare Wasserspeicherkapazität (gemäss Bodenprofil): 51mm

Bestandesgeschichte:	1994 starben die Föhren ab und wurden entfernt. 1995 wurde der Zaun erstellt und mit Waldföhren, Lärchen und einzelnen Flaumeichen aufgeforstet. Bis 2009 wurde die Fläche grösstenteils bewässert. Auf den unbewässerten Teilflächen sieht die Vegetation ähnlich aus wie auf den bewässerten Flächen.
Wildsituation:	Verbisseinfluss deutlich sichtbar anhand der Unterschiede gezäunte/ungezäunte Fläche. Wanderroute des Rothirsches. Auf Grund der schlechten Wüchsigkeit wirkt sich am Standort bereits geringer Verbissdruck stark auf die Vegetation aus.

Grengiols 55*: hochmontan

Standortregion, Höhenstufe:	Grenze 2b/3; hochmontan
Waldstandort:	55* Schneesimsen-Fichtenwald
Boden:	Humusform: Moder Bodentyp: Braunerde Nutzbare Wasserspeicherkapazität (gemäss Bodenprofil): 86mm
Bestandesgeschichte:	Bis 1950-er-Jahre mit Ziegen beweidet
Wildsituation:	Starker Verbiss der Laubbaumarten.

Grengiols 57C: subalpin

Standortregion, Höhenstufe:	Grenze 2b/3, subalpin
Waldstandort:	57C Alpenlattich-Fichtenwald mit Wollreitgras
Boden:	Humusform: Moder Bodentyp: Braunerde Nutzbare Wasserspeicherkapazität (gemäss Bodenprofil): 109mm
Bestandesgeschichte:	Ziegenweide bis in die 1950-er-Jahre
Wildsituation:	Vogelbeere stark verbissen resp. nicht vorhanden

3.2.3 Tessin: Anzonico – Poleggio - Rodi**Anzonico**

Standortregion, Höhenstufe:	4 südliche Zwischenalpen; hochmontan
Waldstandort:	47M Wollreitgras-Tannen-Fichtenwald mit Wachtelweizen
Boden:	Humusform: Moder Bodentyp: Braunerde Nutzbare Wasserspeicherkapazität (aus Bodenprofil):115mm
Bestandesgeschichte:	nicht bekannt
Wildsituation:	starker Verbiss von Tanne, Vogelbeere. Dokumentiert anhand eines Kontrollzauns direkt angrenzend an die Fläche.

Polleggio

Standortregion, Höhenstufe:	5a Südliche Randalpen mit Fichte; collin
Waldstandort:	25A-34mA: Eichen-Kastanienwald mit Linde und Kirsche auf saurer Unterlage
Boden:	Humusform: moderartiger Mull Bodentyp: Braunerde Nutzbare Wasserspeicherkapazität (aus Bodenprofil): 81mm
Bestandesgeschichte:	Bis in die 50-er-Jahre intensive Nutzung, dann keine Eingriffe mehr.

Wildsituation:	Brandspuren im nördlichen Teil der Fläche (beschädigte Bäume). Pflanzungen im Frühling 2014. standortgerechte Laubbaumarten verbissen, Götterbaum kein Verbiss
-----------------------	---

Rodi

Standortregion, Höhenstufe:	4 südliche Zwischenalpen; hochmontan (Übergang collin-hochmontan)
Waldstandort:	50* Karbonat-Tannen-Fichtenwald mit Kahlem Alpendost (25AB-33B Mesophile Kastanienwälder mit Farn und Mischwälder auf neutraler bis basischer Unterlage
Boden:	Humusform: Mull Bodentyp: Braunerde Nutzbare Wasserspeicherkapazität (aus Bodenprofil): 275mm
Bestandesgeschichte:	Nicht bekannt
Wildsituation:	Nicht bekannt

3.3 Übertragung in die waldbauliche Praxis

3.3.1 Anwendung auf die Fallstudienflächen

Die Anwendung der Resultate auf die einzelnen Fallstudienflächen („Lösungsvorschläge“) befinden sich im Anhang 3. Dabei gingen wir mit den Projekten grundsätzlich wie folgt vor:

Wie sind unsere Vorstellungen vom zukünftigen Bestand?

Projekt Zimmermann: Pro Fallstudienfläche wird überprüft,

- ob die heute vorhandenen und gemäss NaiS-Anforderungsprofil wünschenswerten Baumarten potentiell auch in Zukunft wachsen können. Falls ja, wird weiterhin auf die entsprechende Baumart gesetzt. Falls nein wird abgeschätzt,
- ob auf Grund einer der oben aufgeführten Einschränkungen der Modellierung davon ausgegangen werden kann, dass die Baumart trotzdem auch in Zukunft vorkommen kann:
- ab wann mit dem Verschwinden der Baumart gerechnet werden muss. Zudem wird überprüft, welche Baumarten alternativ erwartet / verwendet werden können.

Abenis: In Kombination mit der Trockenheitskarte von Remund kann die zukünftige Verbreitung der collinen Stufe abgeschätzt werden.

RetroPro: Für die subalpinen Fallstudienflächen wird mit einer leichten Vorratszunahme und dem Einwachsen diverser Laubbaumarten (u.a. Bergahorn und Buche) gerechnet.

Projekte Körner/Küchler/Bebi: Auf Grund der drei Projekte wird an der heute oberen Verbreitungsgrenze von Laubbaumarten sowie der Tanne davon ausgegangen, dass diese in Zukunft auch etwas weiter oben vorkommen können. Naturverjüngung dieser Baumarten kann somit an der heute oberen Verbreitungsgrenze gefördert werden, was zur Baumartenvielfalt beitragen kann.

Siegwolf: An trockenen Fichten- und Lärchenstandorten wird mit Einbussen bei diesen Baumarten gerechnet.

Lüscher: Naturverjüngung der Buche wird auf dem Standort 46 gefördert.

Bebi: Auf trockenen Waldföhrenstandorten wird mit starken Einbussen bei der Waldföhre gerechnet.

In der subalpinen Stufe wird mit einer Vorratszunahme und dadurch dichteren Bestandesstrukturen gerechnet.

Wohlgemuth: Auf trockenen Fichtenstandorten wird mit Einbussen bei der Fichte gerechnet.

Projekt Bugmann/Elkin: Zuwenig konkret für direkte Anwendung

Klimadaten

Remund / Abenis: Pro Fallstudienfläche werden im Grundlagen-Dossier (Anhang 2) die Modell-Klimadaten (Temperatur, Niederschlag, relative Feuchte, Globalstrahlung, Schönwetterstrahlung, Windgeschwindigkeit) aus dem Projekt Remund et al. dargestellt und mit den Modell-Daten aus dem Projekt Abenis (nur historisch)

verglichen. Zusätzlich werden die Daten aus dem Projekt Abenis zum Spätfrost, zur thermischen Kontinentalität und zu den Kaltluftseen (wo relevant) dargestellt. Diese Daten dienen als Grundlagen für ökologische Überlegungen bezüglich der Verjüngung.

Trockenheits, resp. nFK-Karte

Remund: Zur Überprüfung der Plausibilität der nFK-Karte wurden an den Fallstudienstandorten je ein Bodenprofil gegraben und beurteilt und anschliessend gemäss Teepe et al.(2003) resp. gemäss Vorgehen der WSL (Excel-Vorlage zur Berechnung der nWSP gemäss Teepe et al. (2003), erhalten per Mail von L. Walthert im Mai 2014) die nutzbare Wasserspeicherkapazität (nWSK, resp. AWC gemäss Teepe) berechnet. Die so abgeschätzten Werte wurden mit der nFK-Karte von Remund (aus Remund et al. 2014, Abbildung vom 20.12.2012) verglichen. Für diejenigen Flächen, in welchen die berechnete nWSK in der Grössenordnung mit der NFK-Karte gemäss Remund übereinstimmte, wird davon ausgegangen, dass die Zukunfts-Trockenstresskarten die Entwicklung gut abbilden. Für die anderen Flächen kann keine verlässliche Angabe zur Entwicklung des Trockenstresses gemacht werden.

Schnee

Bebi: Anhand der Angaben bei Bebi wird die Entwicklung der Schneebedeckung am Fallstudienstandort abgeschätzt.

Handlungsalternativen

Aus der Tabelle 3-1 und den Empfehlungen gemäss Bebi werden diejenigen Handlungsalternativen vorgeschlagen, die zweckmässig und umsetzbar scheinen.

3.3.2 Diskussion der Thesen im Rahmen von Workshops

In der Tabelle 3-2 sind die Daten der Workshops sowie die Teilnehmer aufgeführt. Der Ablauf der Workshops war jeweils wie folgt:

- Die Teilnehmer erhielten vorgängig die Beschreibung der Fallstudienflächen (siehe Anhang 1), das Grundlagendossier (siehe Anhang 2) und den Lösungsvorschlag (siehe Anhang 3).
- Der Workshop startete jeweils in einem Raum.
- Nach einer kurzen Begrüssung und Einführung durch R. Schwitter erläuterte N. Zürcher die untersuchten Projekte und deren potentielle Anwendung für waldbauliche Entscheidungen (ca. 1h). Klärung erster Fragen.
- Anschliessend vor dem Mittag Besuch des ersten Objektes, nach dem Mittag Besuch des zweiten Objektes. Diskussion der einzelnen Projekte, des Lösungsvorschlages und Erfahrungen der anwesenden Praktiker.
- Alle Diskussionen verliefen sehr angeregt.

Tabelle 3-2: Ort/Datum und Teilnehmer der Workshops.

Ort, Datum	Teilnehmer (neben dem Projektteam)
Grengiols (VS), 5. August 2014	Roland Métral, Kreisforstingenieur, Martigny Peter Aschilier, Förster Forst Aletsch, Fiesch Andrea Salzmänn, Bürgerpräsidentin, Bitsch Beat Fritsche, Präsident GWG, Herisau Nico Bircher, Doktorand ETH Zürich, Zürich
Schwanden/Sool (GL), 12. August 2014	Klemens Winzeler, Kreisforstingenieur, Glarus Rolf Ehrbar, Kreisforstingenieur, Amden (SG) Christian Hösli, Förster Gde. Glarus Süd, Schwanden Peter Bebi, SLF, Davos Barbara Huber, Abenis, Chur

Anzonico/Pollegio (TI), 14. August 2014	Giorgio Moretti, Kantonsforstingenieur, Bellinzona Aron Ghiringhelli, Kreisforstingenieur, Faido Lindo Grandi, Förster, Anzonico Peter Brang, Programmleitung WSL, Birmensdorf Barbara Allgaier, Programm Wald und Klimawandel, Birmensdorf

Auf den folgenden Seiten sind die Resultate aus der projektinternen Beurteilung der Projekte sowie aus den Workshops in Tabellenform zusammengefasst und konsolidiert.

Fragestellung		Welche Hinweise haben wir aus den Forschungsprojekten?	Anwendungspotential für waldbauliche Entscheidungen: - Einschränkungen (Unsicherheiten, methodisch, Aufwand, Interpretation, erforderliches ökologisches Wissen, etc.) - Begründung	Ergeben sich auf Grund der Hinweise im Vergleich zu den Empfehlungen in NaiS andere waldbauliche Konsequenzen?	Wo sollten Lücken geschlossen werden?	Hinweise für allfällige Aufbereitung
Welche Baumarten sind auf dem Standort zukunftsfähig?	Projekt Zimmermann: Potentialkarten	Geografisch explizite Hinweise für potentielle zukünftige Baumartenverbreitung von 9 Baumarten	<ul style="list-style-type: none"> - Dem Anwender sollten diverse Modellannahmen bekannt sein für die Interpretation der Verbreitungskarten → direkte Anwendung ist aufwändig, bietet aber gute „Hilfestellung zur Selbsthilfe“. - Der Anwender sollte über ein breites ökologisches Wissen bezüglich Baumarten in seiner Region verfügen für die richtige Einschätzung der Potentialkarten → Anwendung ist fachlich anspruchsvoll. - Für diverse Baumarten mit grosser waldbaulicher Relevanz bestehen bisher keine Verbreitungskarten. 	Anpassungen bei der BA-Wahl (z.B. Grengiols 1: Pflanzen von Flaumeiche, Grengiols 2: Fördern der Waldföhre) Eher häufiger als bisher Eingriffe zur Mischungsregulierung (Förderung von BA, welche bisher nicht ausdrücklich gefördert wurden)	Verbreitungskarten für weitere Baumarten Welche Baumarten kommen in Frage wo die einheimischen Arten an ihre Grenzen stossen (Wallis, Tessin)?	Informationen bezüglich potentielle Baumartenverbreitung sollten auf verschiedenen Ebenen aufbereitet werden: <ul style="list-style-type: none"> - Bessere Darstellung der Karten für direkte Anwendung, benutzerfreundlichere/einfachere/vollständigere Formulierung der Modelleinschränkungen - Auf-/Einarbeitung der Resultate in Form von Empfehlungen zur Baumartenwahl in bestehende Instrumente (z.B. NaiS, Grundanforderungen naturnaher Waldbau, etc.)
	Projekt Abenis: Klimafaktoren zur Erklärung der Höhenstufen	Für die 3 Fallstudienflächen lagen noch keine konkreten Ergebnisse vor.				Der Ansatz wird im Projekt „adaptierte Ökogramme“ weiterverfolgt. Das Klima ist ein wichtiger Einflussfaktor für den Waldstandort. Die klimabedingten Grenzen werden mit den Klimaszenarien verschoben, dadurch kann abgeschätzt werden, was für ein Waldstandort beim entsprechenden Klimaszenarium in ca. 70 Jahren zu erwarten ist. Zur Überprüfung der Plausibilität dieses Ansatzes werden die Resultate der anderen Projekte mit den Ergebnissen verglichen.
	Projekt Bebi: Baumartenanteile	<ul style="list-style-type: none"> - Bisher beobachtete Veränderung in der Baumartenverteilung sind hauptsächlich antropogen verursacht, werden aber in Zukunft wahrscheinlich durch den Klimawandel verstärkt - Bedeutung von Mischbaumarten in Fi-Beständen nimmt zu 	<ul style="list-style-type: none"> - Hinweis auf verstärkte Beimischung von Mischbaumarten - Wenig konkret, nicht grundsätzlich neu 			
	Projekt Körner: Höhenverbreitung Laubbaumarten	Die Höhenverbreitung diverser Baumarten nimmt zu.	<ul style="list-style-type: none"> - Diverse methodische Schwierigkeiten - → konkrete Angaben zur Höhenverschiebung einzelner Baumarten mit Vorsicht anzuwenden - → allenfalls Hinweis, dass Naturverjüngung auch oberhalb der aktuellen Verbreitungsgrenze von Altbäumen gefördert werden kann. 			
	Projekt Kuchler: Höhenverschiebung in Kraut-/ Baumvegetation	Keine Hinweise auf Verschiebungen in der Höhenverbreitung von Baumarten auf Grund des Klimawandels	<ul style="list-style-type: none"> - Gewisse methodische Probleme, Fragezeichen bei der Interpretation der Resultate/Grafiken - Bericht insgesamt vorsichtig zu interpretieren - Keine konkreten Anwendungsmöglichkeiten 			
	Projekt Lüscher: Einwachsen der Bu auf bisherigem Ta-Fi-Stao (Nr. 46)	Hinweis, dass Durchwurzelung auf Stao Nr. 46 nicht schlechter wird wenn die Fichte durch Buche ersetzt wird.	<ul style="list-style-type: none"> - Auf dem Stao Nr. 46 direkt anwendbar. - Keine Aussage darüber, ob Resultate auf andere Standorte übertragen werden können. 	- Für Stao 46 Anpassung in der BA-Mischung	- Allenfalls Untersuchungen auf weiteren Standorten, welche in Bezug auf Hochwasserschutz besonders relevant sind.	Evtl. einfließen lassen bei Überarbeitung von NaiS

Fragestellung		Welche Hinweise haben wir aus den Forschungsprojekten?	Anwendungspotential für waldbauliche Entscheidungen: Einschränkungen (Unsicherheiten, methodisch, Aufwand, Interpretation, erforderliches ökologisches Wissen, etc.) - Begründung	Ergeben sich auf Grund der Hinweise im Vergleich zu den Empfehlungen in NaiS andere waldbauliche Konsequenzen?	Wo sollten Lücken geschlossen werden?	Hinweise für allfällige Aufbereitung
Veränderung der Baumartenvorkommen auf Grund von Trockenheit	Projekt Siegwolf:	Lä und Fi werden auf Grund der Trockenheit vermehrt Probleme bekommen; Lä v.a. in kontinentalen Gebieten	- Vorsicht bei Anwendung ausserhalb der Untersuchungsgebiete - → nicht auf alle Standorte zu verallgemeinern		„Anschluss“ an Trockenstresskarte: ab wann ist bei den entsprechenden BA tatsächlich mit Problemen zu rechnen?	Erkenntnisse einfließen lassen in BA-Empfehlungen in bestehende Instrumente (z.B. NaiS, Grundanforderungen naturnaher Waldbau, etc.)
	Projekt Bebi:	Einzelne Flächen im Wallis mit erhöhter Mortalität der Waldföhre auf Grund von Trockenheit	- Auf trockenen W'Fö-Standorten grundsätzlich anwendbar - Hinweis sehr allgemein	Auf Standorten, wo die W'Fö bereits heute an der physiologischen Grenze ist nach alternativen BA suchen	„Anschluss“ an Trockenstresskarte: ab wann ist für die W'Fö mit trockenheitsbedingten Problemen zu rechnen?	Erkenntnisse einfließen lassen in BA-Empfehlungen
Geschwindigkeit der Veränderungen in der Baumartenzusammensetzung	Projekt Bebi:	Veränderungen in BA-Zusammensetzung laufen langsam ab; werden durch Störungen beschleunigt.	- Störungen sind Schlüsselsituationen; Einflussnahme nach Störungen am ehesten möglich - Hinweis sehr allgemein			
Entwicklung der Wald-Biomasse	Projekt RetroPro	Entwicklung der Waldbiomasse wird pro BA simuliert Gibt konkrete Hinweise zur Geschwindigkeit von Veränderungen in Folge des Klimawandels.	- Diverse Einschränkungen/Defizite des Modells müssen bekannt sein für Interpretation - Nicht für extreme Standorte geeignet - Anspruchsvoll in der Anwendung			Simulationsresultate sollten in einfachere Anwendungshilfen einfließen
	Projekt Bugmann / Elkin:	Siehe RetroPro				
	Projekt Bebi:	Vorratszunahme in subalpinen Wäldern	- muss nicht zwingend klimabedingt sein → Effekte werden hier nicht unterschieden - In der heute subalpinen Stufe werden vermehrt Eingriffe zur Erhaltung der Struktur nötig			
Veränderung ausgewählter verjüngungsökologischer Faktoren als Grundlage für waldbauliche Entscheidungen	Projekt Remund (Teilprojekt Klimadaten):	Relativ konkrete Hinweise auf klimatische Veränderungen	- Diverse Szenarien und relativ grosse Unterschiede zwischen den Szenarien → Unsicherheit in der Anwendung, die in der Natur der Sache liegt. - Keine direkte Anwendung, ist aber wichtige Grundlage für alle weiteren Projekte		Frost (Spät-/Frühfrost) als wichtiger Faktor wurde bisher nicht untersucht, gemäss Auskunft der Programmleitung ist ein Projekt in Arbeit.	Für Anwender einfach zugänglich machen
	Projekt Abenis (Teilprojekt Klimadaten):	Relativ konkrete Hinweise auf klimatische Veränderungen	- Unterschiede zu Remund: warum? - Keine direkte Anwendung, ist aber wichtige Grundlage für alle weiteren Projekte		Berechnung der Klimaparameter für die Zukunft	Für Anwender einfach zugänglich machen
	Projekt Remund (Teilprojekt Trockenstress):	Relativ konkrete Hinweise auf Veränderungen bezüglich Trockenstress	- Stimmt nur, falls modellierte Einschätzung der NFK am entsprechenden Ort stimmt → muss aufwändig überprüft werden - Diverse Szenarien und relativ grosse Unterschiede zwischen den Szenarien → Unsicherheit in der Anwendung, die in der Natur der Sache liegt. - Keine direkte Anwendung, es können Abschätzungen für BA-Wahl abgeleitet werden		„Anschluss“ an Baumartenreaktionen fehlt weitgehend	Resultate in weiterführende Umsetzungsprodukte einfließen lassen Qualität der Karte verbessern, damit man den Ort findet, den man sucht

Fragestellung		Welche Hinweise haben wir aus den Forschungsprojekten?	Anwendungspotential für waldbauliche Entscheidungen: - Einschränkungen (Unsicherheiten, methodisch, Aufwand, Interpretation, erforderliches ökologisches Wissen, etc.) - Begründung	Ergeben sich auf Grund der Hinweise im Vergleich zu den Empfehlungen in NaIS andere waldbauliche Konsequenzen?	Wo sollten Lücken geschlossen werden?	Hinweise für allfällige Aufbereitung
	Projekt TroLiFa	Hinweis dass Föhre im Jugendstadium mehr Trockenheit erträgt als Fichte	- Hinweis auf verstärkte Beimischung von Mischbaumarten in Fichtenbeständen - Wenig konkret, nicht grundsätzlich neu	Förderung der Föhre und anderer Mischbaumarten auf trockenen Fichtenstandorten		
	Projekt Rebetez	Unterstützt Vermutung, dass Bestände auf bereits heute trockenen Standorten problematisch werden. Keine direkten Hinweise.	-			
	Projekt Bebi	Schnee: Schneebedeckung wird in unteren Lagen abnehmen, Nassschneereignisse sind weiterhin wahrscheinlich und in mittleren Lagen sogar eher häufiger	- Grosse Unsicherheiten auf Grund der Unsicherheiten in der Niederschlagsmodellierung		Konkretere Angaben zur Entwicklung der Schneesituation wären wünschenswert	Nassschneefälle bei BA-Empfehlungen und Empfehlungen zu Pflegeeingriffen berücksichtigen
Handlungsalternativen	Projekt Brang	Mit dem naturnahen Waldbau ist es grundsätzlich möglich, die Wälder dem Klimawandel anzupassen. Änderungen werden allenfalls bei der Verjüngungstechnik nötig.	- Prinzipien grundsätzlich umsetzbar, keine konkreten, direkten Hinweise	Vermehrt Pflanzungen (z.B. GL Eckgaden: Pflanzung von Kastanie, Traubeneiche)	Mehr Wissen zu Provenienzen/Saatgut/ Vermehrung wäre wünschenswert	Prinzipien einfließen lassen bei Handlungsempfehlungen

4 Diskussion und Schlussfolgerungen

In diesem Kapitel soll aufgezeigt werden, wo das Projektteam auf Grund der im Rahmen dieses Projektes gewonnenen Erfahrungen generell Anwendungspotential, Grenzen und Unsicherheiten bei der Anwendung der untersuchten Forschungsergebnisse sieht und wo sich konkrete waldbauliche Konsequenzen ergeben. Zudem sollen Hinweise für die Umsetzung der Forschungsergebnisse formuliert werden.

In der Folge wird unterschieden zwischen Schlussfolgerungen für die Praxis, d.h. Antworten auf die Frage „Wo und wie sollte der Waldbau auf Grund der heute vorliegenden Erkenntnisse angepasst werden?“ und Schlussfolgerungen für die Umsetzung, d.h. die Antworten auf die Frage „Was muss weiter unternommen werden für die Entwicklung eines an den Klimawandel angepassten Waldmanagements?“

Die Zusammenstellung in der Tabelle auf den vorangehenden Seiten zeigt, dass aus der Vielzahl von Projekten einzelne Hinweise resultieren, welche so, wie sie heute vorliegen, von einem typischen Anwender direkt in waldbauliche Entscheidungen umgesetzt werden können. Zudem wurden wertvolle Grundlagen erarbeitet, die einen Beitrag zu Entscheidungen im Bestand beitragen können. Diese sollten, wie es z.B. der Ansatz von Brang et al. vorschlägt, in den „normalen“, heute praktizierten naturnahen Waldbau eingebaut werden. Das bedeutet einerseits, dass Anpassungen an den Klimawandel nicht losgelöst vom „restlichen“ Waldbau betrachtet werden sollten, noch sollte andererseits der heute praktizierte Waldbau komplett neu erfunden, sondern vielmehr weiterentwickelt werden.

Schlussfolgerung für die Praxis:

„Wald und Klimawandel“ bedeutet nicht grundsätzlich neue Praktiken, wird in Zukunft aber Herausforderungen mit sich bringen und gewisse Anpassungen erfordern, für welche es offen zu sein gilt.

Schlussfolgerung für die Umsetzung:

Die einzelnen Forschungsprojekte sollten in näherer Zukunft für die Anwendung in tatsächlichen waldbaulichen Entscheidungen miteinander verknüpft werden. Dabei sollte Schnittstellen resp. bestehenden Lücken zwischen den Projekten besondere Beachtung geschenkt werden. Diesbezüglich verspricht das Folgeprojekt „Adaptierte Ökogramme“ einen sehr wertvollen Beitrag zur Verbindung verschiedenster Erkenntnisse.

Insgesamt kann eine generelle Stossrichtung der Resultate erkannt werden: aus den Projektergebnissen zeichnen sich gewisse waldbauliche Trends ab (z.B. Anpassung der Baumartenmischung (v.a. mehr Laubbäume auf heutigen Nadelbaum oder Nadelholz-Standorten, Einbringen/Fördern von trockenheitstoleranten Baumarten, vermehrtes Fördern von Mischbaumarten durch Pflege). Auf diese erwähnten relativ klaren Erkenntnisse und Trends, kann die Praxis bereits **ab sofort** (ohne grosse Unsicherheit) reagieren. Dabei ist aber der Spielraum – unter anderem auf Grund der grossen Unsicherheiten bei den Modellierungen – häufig sehr gross. Die grosse Unsicherheit bezüglich der zu erwartenden Veränderungen wird denn auch von der Praxis als grösstes Problem bei der Anpassung von Waldbaustrategien an den Klimawandel empfunden. Dies liegt natürlich in der Natur der Sache, stellt den Waldbauer aber vor eine grosse Herausforderung.

Schlussfolgerung für die Praxis:

Der waldbauliche Spielraum sollte angesichts der grossen Unsicherheiten möglichst umfassend ausgenutzt werden, um in die Richtung der oben genannten Trends zu arbeiten und so mittel- und langfristig möglichst viele Optionen offenzuhalten. Wo gewisse Entwicklungen bereits heute gesichert sind, sollte nach Möglichkeit bereits heute reagiert werden (z.B. Beimischung von mehr Föhre auf heute bereits trockenen Fichtenstandorten). Gefordert wird vom Praktiker viel Aufmerksamkeit, damit er den vor Ort gegebenen waldbaulichen Handlungsspielraum auch erkennt.

Schlussfolgerung für die Umsetzung:

Es sollte in näherer Zukunft intensiv daran gearbeitet werden, die oftmals allgemein gehaltenen oder unscharfen Hinweise aus den Forschungsprojekten zu „schärfen“ und anschliessend konkrete Handlungsempfehlungen zu erarbeiten. Dies ist auch erklärtes Ziel der letzten Programm-Etappe.

Wie die Zusammenstellung in der Tabelle auf den vorangehenden Seiten zeigt, können bezüglich Baumartenempfehlungen aus diversen Projekten Hinweise gewonnen werden. Am konkretesten sind dabei die Angaben zur zukünftigen potentiellen Baumartenverbreitung von Zimmermann. Diese können mit

Erkenntnissen aus anderen Projekten verglichen und auf deren Plausibilität überprüft (z.B. RetroPro, Siegwolf) und weiter verbessert (z.B. mit den Klimadaten Abenis) werden.

Für die direkte Anwendung im Bestand werden die heute verfügbaren Hinweise allerdings in der Praxis häufig als zu wenig konkret empfunden (z.B. nicht für alle Baumarten vorhanden, Karte schlecht lesbar und damit schlecht interpretierbar) und/oder sie erscheinen auf Grund der Modellannahmen oder anderer methodischer Einschränkungen für den Anwender zu wenig verlässlich, um (evtl. kostenintensive) Interventionen zu begründen. Dies zeigen mehrere Aussagen der Praktiker im Rahmen der Workshops (siehe Protokolle im Anhang 4).

Schlussfolgerung für die Praxis:

Zum heutigen Zeitpunkt ist ein grossflächiges Experimentieren mit nicht standortheimischen Baumarten auf Grund der vorhandenen Erkenntnisse nicht zu empfehlen. Dagegen sollten auf Extremstandorten, auf welchen sich auf Grund diverser Forschungsergebnisse Probleme abzeichnen (z.B. bereits heute trockene Fichtenstandorte), Versuche mit zukunftsversprechenden Baumarten durchgeführt werden, um eine weitere Grundlage / weitere Hinweise für zukünftige Entscheidungen zu finden.

Schlussfolgerung für die Umsetzung:

Forschungsergebnisse müssen gut fundiert und verlässlich, breit anwendbar, einfach kommunizierbar und wenn möglich mit Beobachtungen/Erfahrungen bestätigt sein für eine breite Akzeptanz in der Praxis. Nur so kann erreicht werden, dass Änderungen in der waldbaulichen Praxis erreicht werden.

Gerade bezüglich zukünftiger/heute zu empfehlender Baumartenzusammensetzung besteht eine weitere, aus unserer Sicht entscheidende Lücke: der „Anschluss“ der Baumartenreaktionen an die diversen zu erwartenden klimatischen Veränderungen. So wissen wir nicht, unter welchen (quantifizierten) Bedingungen einzelne Baumarten Probleme bekommen resp. mit einer erhöhten Mortalität gerechnet werden muss und welche Baumarten unter den zu erwartenden Bedingungen geeignet sein werden. Dies gilt sowohl für die Klimadaten wie auch für die Trockenstresskarten.

Schlussfolgerung für die Umsetzung:

Für eine direkte Anwendung v.a. derjenigen Projekte, welche die Veränderung ökologischer Bedingungen untersuchen, fehlt der „Anschluss“ resp. die Folgerung zur Reaktion der Baumarten auf diese Veränderungen. Ohne diesen Anschluss bringt die Quantifizierung klimawandelbedingter Veränderungen der ökologischen Verhältnisse der forstlichen Praxis im Hinblick auf die Anpassung an künftige Bedingungen lediglich einen marginalen Nutzen.

Bezüglich Waldbau-Strategien sind zwei Elemente zu nennen, welchen in Zukunft eine etwas andere Rolle zukommen wird als im heute in der Schweiz weit verbreiteten naturnahen Waldbau: die Naturverjüngung und die Beobachtung/Nachahmung.

So wird der Rückgang oder sogar Ausfall bisher standortgerechter Baumarten das Einführen gebietsfremder Provenienzen und/oder Baumarten erforderlich machen, was in grösserem Stil als heute Pflanzungen bedingen wird.

Im naturnahen Waldbau kommt der Beobachtung der natürlichen Vorgänge eine grosse Bedeutung zu. Angesichts der im Vergleich zur Waldentwicklung rasanten prognostizierten klimatischen Veränderungen hinkt man aber mit Beobachtungen den Entwicklungen ständig hinter her. Gleichzeitig bilden sowohl kurz- wie auch mittel- und langfristige Beobachtungen sowie Dokumentation die wichtigste Grundlage für das Erkennen der ablaufenden Prozesse und ein adaptives Management („Was funktioniert wird wiederholt, das Andere nicht“).

Schlussfolgerung für die Praxis:

Nebst dem Beobachten und Dokumentieren wird es in Zukunft verstärkt von Bedeutung sein, Erkenntnisse aus der Forschung, Modellierungen und Szenarien in waldbauliche Überlegungen einzubeziehen. Dies bedingt von den Waldbau-Praktikern eine gewisse Offenheit sowie Zeit und Bereitschaft zur Einarbeitung in gewisse Themen.

Schlussfolgerungen für die Umsetzung:

Damit kostenintensive Interventionen wie Pflanzungen oder verstärkte Eingriffe zur Mischungsregulierung durchgeführt werden, sind entsprechende finanzielle Anreize ein wichtiger Entscheidungsfaktor (siehe auch unten). Für die Umsetzung eines adaptiven Managements spielen gut dokumentierte Beobachtungen eine entscheidende Rolle und sollten wenn möglich instrumentalisiert werden. In der Umsetzung der

Forschungsergebnisse sollten mindestens angedacht werden, welche Instrumente in welcher Form zielführend sind bezüglich dieser beiden Punkte.

Wie die Erfahrungen des Projektteams zeigen, sind waldbauliche Entscheidungshilfen wie NaiS bereits ohne expliziten Einbezug des Klimawandels für den Durchschnittsanwender anspruchsvoll. Eine „Dynamisierung“ zentraler, in der Praxis gut akzeptierter Elemente wie der Ökogramme oder der Anforderungsprofile – wie dies nötig wird, wenn die zu erwartenden Veränderungen adäquat in waldbauliche Entscheidungen eingehen sollen – macht die Anwendung noch deutlich komplexer.

Schlussfolgerung für die Praxis:

Für den Waldbau-Praktiker bedeutet dies, dass in Zukunft die Unsicherheit als Rahmenbedingung akzeptiert werden sollte und klimatisch bedingte Veränderungen als Prämisse für den „normalen“ Waldbau übernommen werden müssen.

Schlussfolgerung für die Umsetzung:

Neue Erkenntnisse bezüglich klimabedingter Veränderungen und Anpassungsstrategien sollten wo möglich in bekannte und akzeptierte Handlungsempfehlungen eingebaut werden; mit wissenschaftlichen Publikationen ist der Durchschnittsanwender überfordert. Auch hier bietet das Projekt „Adaptierte Ökogramme“ einen wertvollen Ansatz, welcher zu einer „Klimawandel-tauglichen“ Anpassung eines bewährten Instrumentes führen soll. Allfällige Klimawandel-bedingte Anpassungen des heute praktizierten Waldbaus sollten zudem in Rahmen von Kursen und der forstlichen Ausbildung schweizweit systematisch eingeführt werden, um eine hohe Akzeptanz in der Praxis zu erreichen und die Akzeptanz bestehender Instrumente nicht zu gefährden. Dabei können Fachstellen und Arbeitsgruppen/-gemeinschaften eine bedeutende Rolle einnehmen.

Für die Umsetzung von Forschungsergebnissen stellen sich generell die Fragen, wer hauptsächlich Entscheidungsträger sind, welche Faktoren Entscheidungen beeinflussen und wo Schlüsselsituationen liegen, in welchen Entscheidungen besonders folgenswer sind und deshalb eine besonders hohe Qualität der Entscheidung erforderlich ist. Diesbezüglich können aus den Workshops und den Erfahrungen des Projektteams folgende generelle Bemerkungen gemacht werden:

- Hauptentscheidungsträger im Waldbau sind Förster und Forstingenieure, die zwar gut ausgebildet sind, häufig aber wenig Zeit und Motivation haben, um sich ausgiebig mit Publikationen zu beschäftigen.
- Ein Faktor, welcher waldbauliche Entscheidungen sehr direkt beeinflusst, sind finanzielle Aspekte (Ertrag aus Holzschlägen, staatliche Beiträge).
- Als von besonderer Tragweite – aber auch als grosse Chance – werden Entscheidungen bezüglich Verjüngung auf Störungsflächen (Sturm, Borkenkäfer, etc.) beurteilt. Dies sind Situationen, in welchen heute Entscheidungen „ausserhalb der gängigen Handlungsempfehlungen“ zwar möglich, aber angesichts der grossen Unsicherheiten in den Prognosen besonders schwierig zu fällen sind.

Schlussfolgerungen für die Umsetzung:

- **Umsetzungshilfen, welche sich weit verbreitet auf die Waldbaupraktiken auswirken sollen, müssen einfach verständlich und möglichst unkompliziert anwendbar sein (z.B. Anpassung der Anforderungsprofile NaiS). Für eine gute Nachvollziehbarkeit der Entscheidungshilfen und als weiterführende Informationen für den interessierten Anwender sollten einzelne Grundlagen für die Entscheidungshilfen einfach zugänglich aufbereitet werden (z.B. Verfügbarmachen der Trockenheitskarten, Potentialkarten in guter Lesbarkeit und der Genauigkeit der Modellierung entsprechenden Auflösung).**
- **Gut gesicherte Erkenntnisse sollten in Form von finanzwirksamen Instrumenten umgesetzt werden. Dabei ist es politisch wichtig, dass gut deklariert wird, was die Anforderungen an die zukünftigen Wälder sein werden.**
- **Handlungsempfehlungen sollten sich – nebst dem „normalen“ Waldbau – auch auf Schlüsselsituationen wie „Was machen wir auf Sturmflächen“ beziehen, da zu erwarten ist, dass sich über solche Störungen die schnellsten und radikalsten Veränderungen ergeben werden.**

Literatur

- [1] **Bebi P, Teich M, Schwaab J, Krumm F, Walz A, Grêt-Regamey (2012):** *Entwicklung und Leistungen von Schutzwäldern unter dem Einfluss des Klimawandels*. Programm „Wald und Klimawandel“, Schlussbericht. SLF Davos. 83 S.
- [2] **Bircher N, Bugmann H (2012):** *Stratification of the Swiss forest area into typical forest stands*. Projekt ReproPro. ETH Zürich. 27 S.
- [3] **Bircher N, Bugmann H (2013):** *Forest Stand Initialization in ForClim based on National Forest Inventory Data – Technical Report*. Projekt ReproPro. ETH Zürich. 11 S.
- [4] **Bircher N, Bugmann H (2014):** *Implementation of empirical mortality models in ForClim – Technical Report*. Projekt RetroPro. ETH Zürich. 42 S.
- [5] **Brang P, Bugmann H, Bürgi A, Mühletaler U, Rigling A, Schwitter R (2008):** *Klimawandel als waldbauliche Herausforderung*. Schweiz Z Forstwes 159/2008.
- [6] **Brang P et al. (2014):** *Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change*. Forestry: An International Journal of Forest Research 180/2013.
- [7] **Bugmann H (2012):** *Waldökologie*. Skript Bachelor-Studiengang Umweltnaturwissenschaften ETH Zürich – Vertiefung Wald und Landschaft.
https://www1.ethz.ch/fe/education/teaching_material_secured/05_WOek_Skript_H12_Web.pdf,
zugegriffen am 10.12.2015.
- [8] **Buttler A, (2013):** *Ecological response of beech and Norway spruce to climate change along an altitudinal gradient (CLIMARBRE)*. Programm „Wald und Klimawandel“, Proposal. WSL Birmensdorf. 11 S.
- [9] **C25M, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, OcCC (2011):** *Swiss Climate Change Scenarios CH2011*.
- [10] **Elkin C, Walz A, Bugmann H (2014):** *Optimal adaptive management strategies to maintain ecosystem services of Swiss mountain forests – Milestone 3*. Programm “Wald und Klimawandel” Milestone 3. ETH Zürich. 17 S.
- [11] **Huber B, Zischg A, Frehner M, Carraro G, Burnand J (2014):** *Mit welchen Klimaparametern kann man Grenzen plausibel erklären, die in NaiS (Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald) verwendet werden um Ökogramme auszuwählen?* Programm Wald und Klimawandel, Zwischenbericht. Abenis Chur. 48 S.
- [12] **Küchler M, Küchler H, Bedolla A (2013):** *Reaktion des Schweizer Waldes auf Nutzung und Klimawandel*. Programm „Wald und Klimawandel“, Schlussbericht. WSL Birmensdorf. 47 S.
- [13] **Lévesque M, Saurer M, Siegwolf R, Eilmann B, Brang P, Bugmann H, Rigling A (2013):** *Drought response of five conifer species under contrasting water availability suggests high vulnerability of Norway spruce and European larch*. Global Change Biology 19/2013.
- [14] **Lévesque M, Siegwolf R, Saurer M, Eilmann B, Rigling A (2014):** *Increased water-use efficiency does not lead to enhanced tree growth under xeric and mesic conditions*. New Phytologist 203/2014.

- [15] **Lüscher P, Lange B, Thormann J J, Zürcher K (2013):** *Auswirkungen klimatisch bedingter Veränderungen der Baumarten- zusammensetzung auf die Durchwurzelungssituation und bodenhydrologische Prozesse in Waldböden.* Programm „Wald und Klimawandel“, Schlussbericht. WSL Birmensdorf. 9 S.
- [16] **Moser B, Wohlgemuth T (2013):** *Trockenheit als limitierender Faktor für den Anwuchs von Fichte und Waldföhre in den alpinen Trockentälern von Rhone und Rhein (TroLiFa).* Programm „Wald und Klimawandel“, Schlussbericht. WSL Birmensdorf. 21 S.
- [17] **Pluess A R, Weber P (2012):** *Drought-Adaptation Potential in Fagus sylvatica: Linking Moisture Availability with Genetic Diversity and Dendrochronology.* PLoS ONE 7/2012.
- [18] **Remund J (2013):** *Ergänzungen zum Projekt Trockenstress im Schweizer Wald.* Programm „Wald und Klimawandel“, Ergänzungen zum Schlussbericht. Meteotest Bern. 19 S.
- [19] **Remund J, Frehner M, Walthert L, Kägi M, Rihm B (2011):** *Schätzung standortspezifischer Trockenstressrisiken in Schweizer Wäldern.* Programm „Wald und Klimawandel“, Schlussbericht Version 2.3. Meteotest Bern. 56 S.
- [20] **Remund J, Rihm B, Huguenin-Landl B (2014):** *Klimadaten für die Waldmodellierung für das 20. und 21. Jahrhundert.* Programm „Wald und Klimawandel“, Schlussbericht. Meteotest Bern. 39 S.
- [21] **Teepe R, Dilling H, Beese F (2002):** *Estimating water retention curves of forest soils from soil texture and bulk density.* J. Plant Nutr. Soil Sci. 166/2003
- [22] **Vitasse Y, Hoch G, Randin C, Lenz A, Kollas C, Körner C (2012):** *Tree recruitment of European tree species at their current upper elevational limits in the Swiss Alps.* Journal of Biogeography 2012.
- [23] **Von Arx G, Graf Pannatier E, Thimonier A, Rebetez M (2013):** *Microclimate in forests with varying leaf area index and soil moisture: potential implications for seedling establishment in a changing climate.* Journal of Ecology 2013.
- [24] **Wastl C, Schunk C, Leuchner M, Pezzatti G B, Menzel A (2011):** *Recent climate change: Long-term trends in meteorological forest fire danger in the Alps.* Agricultural and Forest Meteorology 162-163/2012.
- [25] **Wunder J, Abegg M, Thürig E (2012):** *Modelling individual tree mortality for Swiss forest species.* Projekt RetroPro. ETH Zürich. 18 S.
- [26] **Wunder J, Bugmann H (2012):** *Zwischenbericht zum Modul "Retrospektive Analyse".* Projekt RetroPro. ETH Zürich. 4 S.
- [27] **Zimmermann N E, Normand S, Schmatz D R, Pearman P B, Thürig E, Dobbertin M, Bolliger J, Kienast F, Psomas A (2013):** *PorTree Final Report.* Programm „Wald und Klimawandel“, Schlussbericht. WSL Birmensdorf. 31 S.
- [28] **Zimmermann N E, Wohlgemuth T, Normand S, Thürig E, Schwyzer A, Ginzler C (2013):** *ForReg- Forest Regeneration in Switzerland.* Projekt ForReg – Prelim. Report. WSL Birmensdorf. 13 S.